

Hands off, Human Factors off? **Welche Rolle spielen Human Factors in** **der Fahrzeugautomation?**

9. Darmstädter Kolloquium
2./3. April 2019
Technische Universität Darmstadt

Herausgeber: R. Bruder & H. Winner

Bruder, Ralph; Winner, Hermann (eds.)
„Hands off, Human Factors off? - Welche Rolle spielen Human Factors in der
Fahrzeugautomation?“
Darmstadt, 2019

www.menschundfahrzeug.de

Digital version:

URI: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/8067>

URN: [urn:nbn:de:tuda-tuprints-80672](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:tuda-tuprints-80672)

CC-Lizenz: CC-BY-Sa 4.0 International

VORWORT

Vor dem Hintergrund der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen hin zum fahrerlosen Fahren vollzieht sich mit steigendem Automationsgrad der Wandel vom Fahrzeugführer zum Passagier. Wurden früher vorwiegend Fahrerbedienkonzepte entwickelt und werden heutzutage Rückübernahmeszenarien abgesichert, können womöglich in Zukunft neue Fahrerlebnisse beim automatisierten Fahren frei von Sicherheitsaspekten geschaffen werden. Dieser Paradigmenwechsel ruft die Frage auf, ob und in welchem Umfang neben der technischen Entwicklung der automatisierten Fahrfunktion auch die menschenzentrierte Gestaltung des gesamten Fahrerlebnisses eine Rolle spielt.

Dabei ergeben sich insbesondere neue Forschungsfragen zur Methodik: Welche Methoden werden in Zukunft für die Entwicklung und Erforschung des automatisierten Fahrerlebnisses im System Fahrer-Fahrzeug-Umgebung benötigt? Welche Anforderungen stellt der Nutzer automatisierter Fahrzeuge an die Simulation seines Fahrerlebnisses und wie wirkt sich dies auf die Methode der Fahrsimulation aus? Welche Methoden werden für die Gestaltung des zukünftigen Autofahrerlebnisses im Hinblick auf Akzeptanz, Vertrauen, Komfort und Fahrgefühl bei der Gestaltung der Fahrfunktion sowie des HMIs des Fahrzeugs benötigt? Mit welchen Methoden kann das kooperative Verhalten mit anderen Verkehrsteilnehmern im Mischverkehr sichergestellt werden?

In der neunten Veranstaltung des Darmstädter Kolloquiums „mensch + fahrzeug“ werden sich Experten aus Industrie und Wissenschaft genau mit diesen Fragen rund um das automatisierte Fahren beschäftigen. Die Thematik wird hierbei aus unterschiedlichen Perspektiven behandelt.

Die Beiträge bieten die Grundlage für ausgiebige Diskussionen im Plenum, in den Pausen oder bei der Abendveranstaltung. Wir laden Sie herzlich ein, an allen Programmpunkten des Expertenaustauschs teilzunehmen.

Prof. Dr. Hermann Winner (Co-Autor: Chris Zöller) betrachtet in seinem Beitrag die Entwicklung von Fahrsimulatoren. Neben der Konvergenz heutiger Fahrsimulator-konzepte, werden auch neue Konzeptideen vorgestellt. Die Entwicklung des fahrerlosen Fahrens stellt neue Anforderungen an die Fahrsimulatoren der Zukunft, wodurch sich ein grundlegender Wandel der Fahrsimulatoren ergeben wird. Im Beitrag wird daher aufgezeigt, was in Zukunft im Fokus der Anwendung steht und welche Techniken dafür präferiert werden.

Dietrich Manstetten (Co-Autoren: Frank Beruscha und Claus Marberger) erläutert in seinem Vortrag die sogenannten „Wizard-of-Oz“-Experimente, bei denen ein versteckter menschlicher Fahrer die noch nicht vorhandene automatisierte Fahrfunktion ersetzt. So können während der vermeintlichen automatisierten Fahrt beispielsweise nicht auf die Fahraufgabe bezogene Aufgaben, die generelle Akzeptanz oder die allgemeine Nutzererfahrung untersucht werden. Nach der Vorstellung der Untersuchungsmethode an verschiedenen Beispielen wird sie bezüglich ihrer Chancen und Grenzen im Vergleich zu Versuchen im Fahrsimulator im Kontext des automatisierten Fahrens bewertet.

Guido Meier-Arendt beleuchtet in seinem Vortrag aktuelle Fragestellungen des Nutzererlebnisses. Der Beitrag thematisiert Konstrukte des Nutzererlebnisses und was benötigt wird, um ein positives Nutzererlebnis beim hochautomatisierten Fahren zu erzeugen. Dabei wird der Schlüssel für eine ganzheitliche Entwicklung, die den gesamten Nutzungskontext berücksichtigt, vorgestellt und diskutiert: Der „User Centered Design“ Prozess.

Der Beitrag von Prof. Dr. Tibor Petzoldt (Co-Autoren: Lisa Zwicker, Jens Schade und Erik Schaarschmidt) beschäftigt sich mit der Frage, wie die Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern stattfinden kann. Dazu werden Form und Auftreten der Kommunikation unter heutigen Verkehrsteilnehmer ermittelt und hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit für automatisierte Fahrzeuge analysiert. Das abschließend vorgestellte Szenarienblatt dient dabei als theoretische Basis zur Beurteilung heute gängiger Interaktionen.

Der Vortrag von Dr. Miklós Kiss (Co-Autor: Daniel Lepczyk) handelt von der User-Stories-Entwicklungsmethode. Hierbei steht die Mensch-Maschine-Interaktion von automatisierten Fahrzeugen im Vordergrund. Weitere Aspekte thematisieren die gesellschaftliche Veränderungen sowie die sich wandelnden Erwartungen an Technik.

Im Beitrag von Prof. Dr. Ralph Bruder (Co-Autoren: Philip Joisten, Andreas Müller, Jonas Walter und Bettina Abendroth) werden neuen Ansätze der Human-Factors-Forschung im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens aufgezeigt. Am Beispiel der Forschung zu fahrfremden Tätigkeiten, Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern sowie der Akzeptanz von vernetzten Fahrzeugdiensten wird der Wandel der Herausforderungen der Human-Factors-Forschung skizziert. Der Beitrag tritt der (provokanten) These entgegen, dass der Faktor Mensch im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens an Bedeutung verlieren wird.

Prof. Dr. Klaus Bengler zeigt in seinem Beitrag Prinzipien der Kooperation für Mischverkehrsszenarien aus Menschen und automatisierten Fahrzeugen auf. Dabei blickt er auf das Konstrukt der Kooperation in der Fahrzeugführung und Robotik zurück und stellt Verfahren und Metriken für die Messung der Kooperationsleistung zwischen Menschen im Straßenverkehr vor. Der Beitrag schließt mit Implikationen für die Kooperation zwischen automatisierten Fahrzeugen und Menschen im Straßenverkehr.

Der Beitrag von Prof. Dr. Barbara Deml (Co-Autoren: Hannes Weinreuter, Jonas Imbsweiler, Fernando Puente León) beschäftigt sich mit der Kooperation zwischen automatisch geführten und manuellen Fahrzeugen. Im Vordergrund steht die Fragestellung, wie es Menschen gelingt, die Intentionen eines anderen Fahrers zu erkennen und auf dieser Basis eine adäquate Verhaltensentscheidung zu treffen. Neben den Ergebnissen einer Beobachtungsstudie wird am Beispiel einer gleichrangigen Engstelle ein Modellierungsansatz zur Intentionserkennung vorgestellt.

Peter Schöggli (Co-Autoren: Mario Oswald, Michael Stolz, Erik Bogner und Rainer Voegl) präsentiert in seinem Vortrag eine Methode zur objektiven Berechnung der Human Factors wie Vertrauen, Komfort und empfundene Sicherheit in Echtzeit. Mit dieser ist es möglich, während der Funktionsentwicklung bereits Zielvorgaben für die Human Factors zu berücksichtigen und in einer Echtzeit-simulation von Fahrzeug, Verkehr und Fahrfunktion eine Bewertung, Optimierung und Validierung automatisierter Fahrfunktionen auf Human Factors durchzuführen.

Für das Engagement der einzelnen Referenten und Autoren möchten wir uns an dieser Stelle recht herzlich bedanken. Ohne die zu den wissenschaftlichen Beiträgen des Tagungsbandes gehörenden lebhaften Vorträge wäre eine solche Veranstaltung nicht möglich.

Letztlich könnte das Darmstädter Kolloquium ohne die Unterstützung der wissenschaftlichen Mitarbeiter der beiden Fachgebiete Arbeitswissenschaft und Fahrzeugtechnik nicht stattfinden. Daher gilt ein besonderer Dank dem Organisationsteam bestehend aus Herrn Andreas Müller, Herrn Jonas Walter und Herrn Philip Joisten auf Seiten der Arbeitswissenschaft sowie Herrn Philipp Rosenberger, Herrn Björn Klamann und Frau Maren Henzel auf Seiten der Fahrzeugtechnik.

Darmstadt, im April 2019

Prof. Dr.-Ing. R. Bruder

Prof. Dr. rer. nat. H. Winner

INHALTSVERZEICHNIS

FAHRSIMULATOR KONZEPTE IM WANDEL	1
<i>Hermann Winner, Chris Zöller</i>	
 WIZARD-OF-OZ EXPERIMENTS IN REAL TRAFFIC – CAN THEY RESTART HUMAN FACTORS?	21
<i>Dietrich Manstetten, Frank Beruscha, Claus Marberger</i>	
 USER EXPERIENCE AND AUTOMATION: CHALLENGES – CRITERIA – METHODS	33
<i>Guido Meier-Arendt</i>	
 KOMMUNIKATION ZWISCHEN AUTOMATISIERTEN KRAFTFAHRZEUGEN UND ANDEREN VERKEHRSTEILNEHMERN – WAS BRAUCHEN WIR ÜBERHAUPT?	47
<i>Lisa Zwicker, Tibor Petzoldt, Jens Schade und Erik Schaarschmidt</i>	
 MENSCH UND FAHRZEUG IN UNTERSCHIEDLICHEN AUTOMATISIERUNGSSTUFEN	59
<i>Miklos Kiss, Daniel Lepczyk</i>	
 NEUE ANSÄTZE DER HUMAN FACTORS FORSCHUNG IM ZEITALTER DES HOCHAUTOMATI- SIERTEN FAHRENS	69
<i>Philip Joisten, Andreas Müller, Jonas Walter, Bettina Abendroth, Ralph Bruder</i>	
 PRINZIPIEN FÜR KOOPERATIVES FAHRVERHALTEN – HEUTE UND MORGEN	91
<i>Klaus Bengler</i>	
 EREIGNISDISKRETE MODELLIERUNG KOOPERATIVEN ENTSCHEIDUNGSVERHALTENS IN DER AUTOMATISCHEN FAHRZEUGFÜHRUNG	99
<i>Hannes Weinreuter, Jonas Imbsweiler, Fernando Puente León, Barbara Deml</i>	
 GANZHEITLICHE BERÜCKSICHTIGUNG VON HUMAN FACTORS BEIM AUTOMATISIERTEN FAHREN	109
<i>Peter Schögggl, Mario Oswald, Michael Stolz, Erik Bogner und Rainer Voegl</i>	

FAHRSIMULATOR KONZEPTE IM WANDEL

Hermann Winner, Chris Zöller

ZUSAMMENFASSUNG

Fahrsimulation gehört nach ersten Anfängen der 50er bis 70er-Jahre spätestens seit den 80er-Jahren zu einem festen Bestandteil der fahrerzentrierten Entwicklung im Automobilbereich. Von der einfachen „Sitzkiste“ bis zu hochkomplexen dynamischen Fahrsimulatoren wurden Forschungs- und Entwicklungsfragestellungen durch virtuelles Fahren untersucht. Die technischen Lösungen konvergierten, auch wenn sie je nach Abbildungsgrad unterschiedlich aussahen. So wird für dynamische Fahrsimulatoren zumeist eine feststehende oder auf Schlitten gelagerte Stewart-Plattform (Hexapod-Plattform) mit einem (Teil-)Fahrzeug als Mock-up und einem Projektor-System für die Visualisierung genutzt.

Seit einigen Jahren werden alternative Konzepte vorgestellt. Zugleich ändern sich die Anforderungen an die Fahrsimulatoren durch das Nahen des fahrerlosen Fahrens. Somit stellt sich die Frage nach dem Was und Wie der Fahrsimulation der Zukunft, also was steht in der Zukunft im Fokus der Anwendung und wie kann dieser Bedarf richtig adressiert werden.

1. TECHNIKKONZEPTE FÜR FAHRSIMULATOREN

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über aktuelle Technikkonzepte für Fahrsimulatoren. Da sich verschiedene technische Bestandteile eines Simulatorsystems miteinander kombinieren lassen, wird zunächst anhand der Systemkomponenten von Fahrsimulatoren eine Kategorisierung aufgezeigt. Im Anschluss werden Konzepte für jede einzelne Kategorie dargestellt.

1.1 Überblick Systemkomponenten von Fahrsimulatoren

Zur Simulation eines Szenarios in einem Fahrsimulator sind die für das Fahren relevanten Sinneskanäle des Menschen so zu stimulieren, dass eine dem Untersuchungszweck angemessene Realitätsnähe erreicht wird. Folgende Systemkomponenten werden für die Darstellung der entsprechenden Sinneskanäle benötigt (Arend & Kupke, 1982) nach (Negele, 2007):

- Sehen → Visualisierung und Fahrzeugumgebung
- Fühlen → Benutzerschnittstellen und Bewegungssimulation
- Gleichgewichtssinn → Bewegungssimulation
- Hören → Audio-System

Die notwendige Minimalkonfiguration für einen Simulator ist die Visualisierung, da ansonsten kein Fahrerlebnis wiedergegeben werden kann. Die Notwendigkeit der weiteren Komponenten hängt vom Untersuchungszweck ab. Für eine hohe Immersion, also das Eintauchen in die virtuelle Welt, ist eine möglichst umfassende Simu-

lation anzustreben. Im Folgenden werden technische Konzepte für die Visualisierung, die Fahrzeugumgebung, die Benutzerschnittstellen und die Bewegungssimulation vorgestellt.

1.2 Visualisierungssysteme

1.2.1 Monitore

Monitore bilden aufgrund ihrer Einfachheit den Einstieg in die Fahrsimulation. Nachteilig sind insbesondere das begrenzte vertikale Sichtfeld und der daraus resultierende geringe Augenabstand sowie, im Falle mehrerer Monitore, die Ränder an den Übergängen. Dadurch eignen sie sich kaum für die Darstellung des Hauptsichtfelds in leistungsfähigen Fahrsimulatoren. Für die Simulation von Nebenansichten mit sehr begrenztem Sichtbereich, bspw. für Rückspiegel, reichen sie aus.

1.2.2 Projektoren

Projektorsysteme sind in heutigen leistungsfähigen Fahrsimulatoren am meisten verbreitet. Mit mehreren Projektoren ist es möglich, ein horizontales Sichtfeld von 360° darzustellen. Vertikal ist das Sichtfeld eines Projektors ausreichend, um in normaler Sitzposition aus dem Fahrzeug heraus keine Begrenzungen des Sichtsystems zu erkennen. Durch die Verwendung moderner 4K-Projektoren lässt sich eine mit Monitoren vergleichbare Auflösung bei deutlich größerem Abstand zum Fahrerauge erzielen. Als nachteilig ist der große Bauraum der Systeme anzusehen, der eine entsprechende Dimensionierung der Simulator-Kuppel erfordert. Dies bringt in Verbindung mit der hohen Masse des Visualisierungssystems hohe Trägheiten mit sich, die die Anforderungen an das Bewegungssystem erhöhen.



Bild 1: Projektorsystem des hochdynamischen Fahrsimulators der RWTH Aachen mit Vollfahrzeugumgebung (Schiewe, 2016)

1.2.3 Head-Mounted Displays

Head-Mounted Displays (HMD) geben die virtuelle Umgebung direkt vor den Augen des Betrachters wieder. Durch Head-Tracking (teilweise auch Eye-Tracking) wird das Bild an die aktuelle Kopf- bzw. Blickrichtung des Fahrers angepasst. Dadurch lässt sich auch mit diesem System ein 360°-Sichtfeld erreichen. Gleichzeitig sind der Bauraum und die Masse des Systems deutlich geringer als bei einem Projektorsystem. Durch die getrennte Bilddarstellung für beide Augen ist eine Stereo-Darstellung üblich, was die Tiefenwahrnehmung fördert. Als nachteilig haben sich in selbst durchgeführten Studien und Tests mit einem statischen Fahrsimulator mit HMD die erkennbaren Ränder des Sichtfelds, das merkbare Gewicht der Brille sowie die (noch) zu geringe Auflösung des Systems, die bspw. die Erkennung von

Verkehrszeichen erschwert und durch Pixelflimmern die Immersion stört, herausgestellt. Zudem fehlt üblicherweise die Darstellung von Objekten der realen Welt, bspw. der Fahrerhände oder des Lenkrads. Neuere Ansätze zur Lösung dieses Problems sind bspw. Hand-Tracker oder die Verwendung einer Augmented Reality wie in Bild 2. Bei letzterem wird die reale Umgebung mit einer Kamera aufgenommen und im HMD dargestellt. Ein Bluescreen ermöglicht die Einbindung des virtuellen Teils der Sichtsimulation in diese Darstellung. Dennoch ist eine zufriedenstellende Lösung dieses Problems noch nicht final gefunden, da bei der Augmented Reality noch eine reale Fahrzeugumgebung erforderlich ist und durch den Versatz zwischen Kamera und Auge des Probanden eine Parallaxe entsteht.

Die genannten Nachteile verhindern bislang eine größere Verbreitung von HMDs in der Fahrsimulation. Aufgrund der hohen Entwicklungsdynamik dieser Technologie ist jedoch zukünftig mit mehr Anwendungen zu rechnen.



Bild 2: HMD Darstellung mit augmentierter Fahrzeugumgebung

1.3 Benutzerschnittstellen und Fahrzeugumgebung

Im Folgenden werden zunächst die Benutzerschnittstellen eines Simulators vorgestellt. Im Anschluss werden Konzepte für die Fahrzeugumgebung auf Basis einer Unterteilung in einfache Fahrstände, Teil- und Vollfahrzeuge sowie eine virtuelle Darstellung vorgestellt.

1.3.1 Benutzerschnittstellen

Inwieweit Benutzerschnittstellen einzubinden sind, hängt vom Untersuchungszweck ab. Für ein Mindestmaß an Immersion ist selbst bei einer passiven Simulation (Kein tatsächlicher Einfluss des Fahrers auf das Simulationsgeschehen) ein Lenkrad vorteilhaft, da es ein dominanter visueller Bestandteil der Umgebung ist. Für eine aktive Simulation werden darüber hinaus Gas- und Bremspedal als grundsätzliche Steuerungseingänge für das Fahrzeug benötigt. Für einen hohen Grad an Immersion ist zudem für jede dieser Schnittstellen eine Kraft- bzw. Momentensimulation erforderlich. Diese kann über elastische Elemente, einen zusätzlichen Aktor oder Hardware-in-the-Loop-Komponenten umgesetzt werden. Neben Eingangsschnittstellen ist auch die Darstellung von Ausgängen wie dem Armaturenbrett von Vorteil. Weitere Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) wie bspw. Knöpfe und Hebel zur Bedienung von Assistenzsystemen sind je nach Untersuchungszweck vorzusehen.

1.3.2 Rudimentärer Fahrstand

Die einfachste Variante stellt ein rudimentärer Fahrstand dar, der lediglich die geschilderten Benutzerschnittstellen aufweist. Diese sind jedoch nur z.B. über einen Rahmen miteinander verbunden und haben keine Ähnlichkeit zu einer realen Fahrzeugumgebung. Dieser Ansatz ist oft für Fahrertrainings oder im Unterhaltungsreich zu finden, wird jedoch für leistungsfähige Fahrsimulatoren nicht genutzt.

1.3.3 Teilfahrzeug und Vollfahrzeug

Bei einem Teilfahrzeug sind auch über die Benutzerschnittstellen hinaus Elemente der realen Fahrzeugumgebung enthalten, bspw. die Frontscheibe oder Türen. Es sind jedoch Abweichungen zum Realfahrzeug für den Probanden zu erkennen. Ein Vollfahrzeug wie in Bild 1 ist eine vollständige Nachbildung des realen Fahrzeugs, wobei durchaus nicht sichtbare Teile fehlen dürfen. Speziell in hochimmersiven Simulatoren wird dieses Konzept genutzt, da bspw. schon beim Einstieg in den Simulator kein Unterschied zu einem realen Fahrzeug für den Proband erkennbar sein soll (Schöner, 2015).

1.3.4 Virtuell

Die in Abschnitt 1.2.3 geschilderten HMDs eröffnen als weitere Möglichkeit der Umsetzung der Fahrzeugumgebung eine alleinige virtuelle Darstellung. Durch den Verzicht auf ein reales Vollfahrzeug werden bei dynamischen Fahrsimulatoren die Massenträgheiten deutlich reduziert. Zudem ermöglicht dies das Testen vieler unterschiedlicher Innenraum- bzw. Schnittstellenvarianten ohne Prototypenbau. Jedoch tritt auch hier die Problematik der Einbindung der real vorhandenen Benutzerschnittstellen und bspw. der Fahrerhände in Erscheinung. Insbesondere mit der in 1.2.3 geschilderten Augmented-Reality-Lösung gehen die genannten Vorteile wieder verloren, da eine reale Fahrzeugumgebung vorgesehen werden muss. Weitere Entwicklungen müssen diesbezüglich Lösungen finden, um eine Verbreitung des Konzepts zu ermöglichen.

1.4 Bewegungssimulation

1.4.1 Einführung in die Bewegungssimulation

Die meisten Fahrsimulatoren nutzen eine Kombination aus den Konzepten Neigung (sog. Tilt Coordination, TC) und Translation zur Bewegungssimulation. Die TC basiert auf einem Wahrnehmungsunvermögen des Menschen, durch den bei Neigung des Probanden ohne zusätzliche visuelle Information eine Komponente der Erdbeschleunigung als horizontale Beschleunigung wahrgenommen wird. Dadurch lassen sich langanhaltende Beschleunigungen ohne eine tatsächliche translatorische Bewegung simulieren. Begrenzt ist dieser Ansatz dadurch, dass der Mensch rotatorische Geschwindigkeiten und Beschleunigungen wahrnimmt. Die Neigungswinkel müssen deshalb unterhalb der Wahrnehmungsschwellen dieser Größen eingestellt werden, sodass sich der Ansatz nur für sehr niederfrequente Beschleunigungsanteile eignet. Hochfrequente Beschleunigungsanteile müssen deshalb durch eine tatsächliche Translationsbewegung simuliert werden. Für eine hohe Simulationsqualität sind größere Bewegungsräume von Vorteil, da ein größeres Frequenzband der Beschleunigungen dargestellt werden kann (Betz, 2015).

Der Aspekt der Bewegungssimulation lässt sich in Hardware- und Software-Bestandteile gliedern. Letzteres sind sogenannte Motion-Cueing-Algorithmen (MCA), die aus der Bewegung des simulierten Fahrzeugs die Bewegung des Simulators berechnen. Der Hardware-Teil umfasst das Bewegungssystem, das die vorgegebenen Beschleunigungssignale des MCA in für den Fahrer spürbare Bewegungen umwandelt.

1.4.2 *Motion Cueing Algorithmen*

Die Kernaufgabe von MCA ist die Umsetzung der vom Fahrdynamikmodell vorgegebenen Beschleunigungen in vom Fahrsimulator umsetzbare Bewegungen (Fischer, 2009). Dies beinhaltet bspw. die Aufteilung der Darstellung der Beschleunigungen auf die TC und die translatorische Simulation. Bestandteil ist auch der Washout, der eine Rückführung des Simulators zum Ursprung des Bewegungsraums hervorruft, um für die nächste Beschleunigungsanforderung den maximalen Verfahrweg zur Verfügung zu stellen. Das Entwicklungsziel der MCA ist, mit einem gegebenen Bewegungssystem eine möglichst breitbandige Beschleunigungssimulation zu ermöglichen, indem der zur Verfügung stehende Bewegungsraum bestmöglich genutzt wird. Aktuelle Entwicklungen konzentrieren sich insbesondere auf modellprädiktive MCA (Vgl. (Biemelt et al., 2018), (Drop et al., 2018), (Fang et al., 2017), (Bruschetta et al., 2016)). Durch die Optimierung einer Kostenfunktion wird unter Berücksichtigung einer prädizierten Bewegung des simulierten Fahrzeugs, der Wahrnehmung des Menschen und der Bewegungsraumgrenzen eine gewünschte Fahrsimulatortrajektorie berechnet (Drop et al., 2018). Bei einer bevorstehenden Bremsung fährt der Fahrsimulator bspw. an den Rand des Bewegungsraums, an dem ihm für das Manöver der maximale Bewegungsraum zur Verfügung steht. Insbesondere für Fahrscenarien im automatisierten Modus ist ein modellprädiktiver Ansatz einfacher umsetzbar, da ein Modell der Fahrfunktion klarer definiert ist, als wenn der Fahrer mit seinen nicht immer vorhersehbaren Aktionen das Geschehen bestimmt.

Trotz der aktuellen Entwicklungen ist festzuhalten, dass MCA zwar die Ausnutzung eines gegebenen Bewegungssystems optimieren können. Jedoch ist selbst bei idealen modellprädiktiven Ansätzen höchstens eine Verdopplung des verfügbaren Bewegungsraums möglich. Folglich ist der vorrangig begrenzende Faktor bei der Bewegungssimulation die Hardware.

1.4.3 *Bewegungssysteme*

1.4.3.1 Statische Fahrsimulatoren

Statische Fahrsimulatoren weisen kein Bewegungssystem auf und eignen sich deshalb nur für die Simulation von Szenarien mit geringen Beschleunigungen. Typische Anwendungsfälle sind MMS-Untersuchungen oder Szenarien, in denen meist mit konstanter Geschwindigkeit und hohen Kurvenradien gefahren wird. Die Simulation stärkerer Bewegungen erhöht das Risiko für Fahrsimulatorkrankheit, da die Abweichung zwischen visuellem und vestibulärem Kanal zu groß wird.

1.4.3.2 Hexapod-Fahrsimulatoren

Hexapoden bestehen aus zwei Plattformen, die durch sechs Linearaktoren miteinander verbunden sind (Stewart, 1965). Diese Anordnung ermöglicht die Bewegung

in den sechs räumlichen Freiheitsgraden. Das System ist insbesondere für die Simulation durch TC geeignet. Der translatorische Bewegungsraum ist jedoch auf wenige Meter eingeschränkt, wodurch der Ansatz sich für breitbandige Beschleunigungseingänge nicht eignet.

1.4.3.3 Hexapod-Fahrsimulatoren mit Schienensystem

Der Nachteil des geringen translatorischen Bewegungsraums von Hexapoden lässt sich durch die Einführung zusätzlicher Freiheitsgrade beheben. Ein Ansatz dafür ist die Verwendung von Schienensystemen mit einem oder zwei Freiheitsgraden unterhalb des Hexapoden (Bild 3). Dadurch lassen sich auch hochfrequente Beschleunigungen simulieren. Zusätzlich lässt sich durch einen Drehtisch der Gierfreiheitsgrad vergrößern.

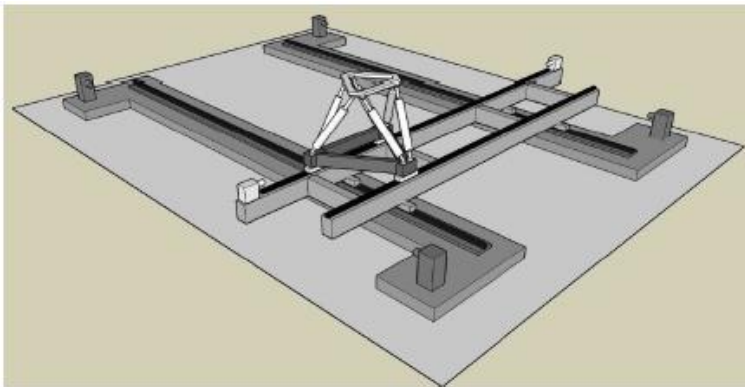


Bild 3: Konzeptskizze eines Fahrsimulators mit Hexapod und Schienensystem (Carlsson et al., 2009)

Das Konzept ist unter leistungsfähigen Fahrsimulatoren verbreitet (Vgl. (Chapron & Colinot, 2007), (Clark et al., 2001), (Murano et al., 2009), (Zeeb, 2010), (Baumann et al., 2012)). Nachteilig ist die Tatsache, dass durch die Einführung des Schienensystems hohe Massen bewegt werden müssen, insbesondere, wenn zwei Freiheitsgrade vorliegen. Dies ist mit einem hohen Leistungs- und Energiebedarf und dementsprechend hohen Anschaffungs- und Betriebskosten verbunden. Zudem besteht eine Koppelung zwischen dem für die Simulationsqualität ausschlaggebenden Bewegungsraum und der bewegten Masse des Systems. Eine weitere Erhöhung des Bewegungsraums gegenüber dem aktuellen Stand der Technik, der für komplexere Szenarien notwendig ist (Betz, 2015), ist wirtschaftlich und technisch mit einem unverhältnismäßigen Aufwand verbunden (Zeeb, 2010).

1.4.3.4 Fahrsimulatoren mit Luftkissenplattform

Ein alternativer Ansatz der Firma VI-grade umgeht die Nachteile des Schienensystems durch die Verwendung einer auf Luftkissen gelagerten Plattform, die durch Linearaktoren horizontal angetrieben wird (VI-grade, 2017). Dies bringt in Verbindung mit einem Neigungssystem die gleichen Vorteile wie das Schlittensystem, ist jedoch deutlich leichter und vibrationsärmer. Der maximale Bewegungsraum ist jedoch auch hier eingeschränkt, da die Linearaktoren den kompletten Bewegungsraum abdecken müssen. Der dafür notwendige Hub erfordert zum einen sehr große Aktoren. Zum anderen nimmt die Steifigkeit mit zunehmender Länge der Aktoren ab, was wiederum durch größere Dimensionen kompensiert werden müsste. Dem-

entsprechend herrscht auch hier ein Zielkonflikt zwischen Wirtschaftlichkeit und Bewegungsraum vor. Aktuell befindet sich ein neues Konzept in der Entwicklung, das auf einem Antrieb der Luftkissenplattform mit Seilen beruht. Auch diese Lösung bringt Probleme mit sich, die im nächsten Abschnitt erläutert werden.

1.4.3.5 Seilroboter-Fahrsimulator

Ein im Jahr 2015 vorgestellter Ansatz des Max Planck Instituts für Biologische Kybernetik (MPI) in Tübingen nutzt die Technologie von Seilrobotern zur Beschleunigungssimulation (Miermeister et al., 2016). Eine Plattform wird von 8 Kabeln gehalten, die durch Aktoren mit einer Gesamtleistung von 384 kW angetrieben werden. Dadurch ist ein verhältnismäßig großer Bewegungsraum, insbesondere vertikal, bei einer geringen zu bewegenden Masse erreichbar. Nachteilig ist jedoch, dass eine große Frequenzbandbreite der darstellbaren Beschleunigungen eine hohe Kabelspannung erfordert (Miermeister et al., 2016), die mit dem Bewegungsraum zunimmt. Dadurch erhöht sich auch der Leistungsbedarf mit zunehmendem Bewegungsraum. Der Simulator wird aufgrund seines großen vertikalen Bewegungsraums insbesondere für die Flugsimulation und Wahrnehmungsuntersuchungen genutzt (Miermeister et al., 2016).

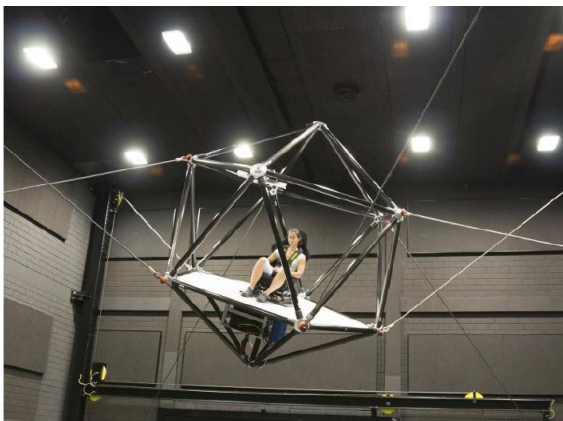


Bild 4: CableRobot Simulator des MPI in Tübingen (Miermeister et al., 2016)

1.4.3.6 „Robocoaster“-Fahrsimulator

Der Robocoaster-Fahrsimulator, ebenfalls ein Konzept des MPI, basiert auf einem KUKA Roboterarm, der üblicherweise für industrielle Zwecke eingesetzt wird (Teufel et al., 2007). Er weist einen etwas größeren Bewegungsraum auf als klassische Hexapod-Simulatoren und ist insbesondere zu deutlich größeren Winkelbewegungen in der Lage, wodurch er sich insbesondere für Wahrnehmungsuntersuchungen und Flugsimulation eignet. Er ist zudem mit einer Linearschiene ausgestattet, die den Bewegungsraum vergrößert und dadurch die Frequenzbandbreite der darstellbaren Beschleunigungen erhöht. Dennoch ergeben sich die gleichen Schwächen wie bei den Hexapod-Fahrsimulatoren mit Schienensystem.

1.4.3.7 Zentrifugen-Fahrsimulator

Ein von Desdemona entwickelter Fahrsimulator besteht aus einer um die Hochachse rotierenden Schiene, in der sich eine kardanisches gelagerte Fahrkabine radial bewegen kann (Wentink et al., 2005). Durch die Rotation können langanhaltend hohe Zentrifugalbeschleunigungen bis zu 3 g dargestellt werden. Nachteilig sind

jedoch die Kopplungen der Freiheitsgrade, da bspw. bei Verschiebung der Kabine während der Rotation auch Coriolis-Beschleunigungen entstehen. Zudem liegt auch hier eine Koppelung zwischen Bewegungsraum und bewegter Masse vor.

1.4.3.8 Selbstfahrende mobile Fahrsimulatoren

Ein ursprünglich von Donges patentiertes Konzept (DE000010106150A1, 2002) setzt die translatorischen Freiheitsgrade des Simulators durch eine mit Reifen angetriebene Plattform um. Im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen Ansätzen ist der Bewegungsraum bei diesem Konzept nicht systeminhärent. Es lässt sich auf verschiedenen Fahrflächen im Innen- und Außenbereich nutzen, sodass der Bewegungsraum flexibel an die Anforderungen des zu simulierenden Szenarios anpassbar ist. Der Bewegungsraum ist lediglich durch die zur Verfügung stehende Fahrfläche begrenzt. Durch die im Vergleich zu bspw. Schlittensystemen geringe Masse des Konzepts wird weniger Leistung und Energie benötigt, sodass sowohl die Anschaffungs- als auch Betriebskosten gering sind. Offene Herausforderungen des Konzepts sind insbesondere die Ansteuerung und Regelung unter Berücksichtigung der komplizierten Reifen-Fahrbahn-Paarung und der unbegrenzten Lenkwinkel, die Sicherheitsarchitektur des ungebundenen Systems sowie die Vertikalanregung durch die Fahrfläche. Das Fachgebiet Fahrzeugtechnik an der TU Darmstadt hat im Rahmen von Forschungsarbeiten den in Bild 5 dargestellten Prototyp für Machbarkeitsuntersuchungen aufgebaut (Betz, 2015) und plant aktuell den Aufbau eines Demonstrators, um die Simulationsqualität im Rahmen von Probandenstudien zu evaluieren. Darüber hinaus forscht die TU Dresden an einem Konzept gleichen Prinzips (Tüschen & Prokop, 2013) und plant ebenfalls den Aufbau eines Prototyps.

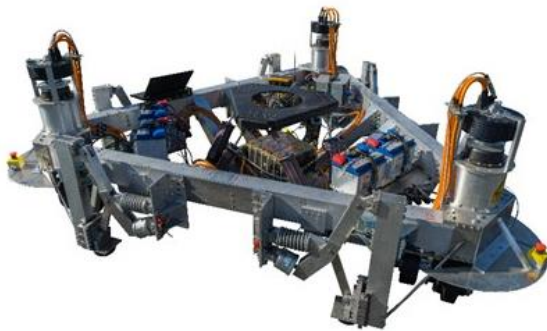


Bild 5: Prototyp des selbstfahrenden Fahrsimulators der TU Darmstadt

2. GRENZEN HEUTIGER FAHRSIMULATOREN

Fahrsimulatoren haben in der Fahrzeugentwicklung ihren festen Platz in der Entwicklungskette gefunden. Viele anfängliche Schwierigkeiten wurden überwunden, und das Ziel, die Probanden möglichst wenig von der Künstlichkeit der Umgebung wahrnehmen zu lassen, wurde für viele Untersuchungsziele erreicht. Allerdings verbleiben erhebliche Einschränkungen, die im Folgenden kurz beschrieben werden und die Untersuchungsbereiche noch merklich einengen.

2.1 Visuelle Wahrnehmung

Ein Problem der Visualisierung, dass bislang von keinem der Konzepte zufriedenstellend gelöst wird, ist die Tiefenwahrnehmung (Schöner, 2018). Neben der Stereo-Sicht sind für die Tiefenwahrnehmung noch andere Aspekte wie die Akkomodation des Auges, die Bewegungsparallaxe und die mit der Entfernung veränderliche wahrgenommene Geschwindigkeit von Objekten von Bedeutung (Negele, 2007).

Trotz der leistungsstarken Projektionssysteme hinsichtlich Auflösung und Helligkeit werden alle virtuellen Objekte unabhängig vom (virtuellen) Abstand in derselben Entfernung abgebildet. Dies hat Auswirkungen auf die Distanz- und folglich auch die Geschwindigkeitswahrnehmung. Ein großer Visualisierungsabstand kann das Bild von entfernten Objekten „natürlicher“ erscheinen lassen. Dafür vergrößert sich die Gefahr, dass nahe virtuelle Objekte diesen Abstand (virtuell) unterschreiten und dabei sowohl die Fokussierung (Akkomodation) als auch den Stereoeindruck deutlich spürbar verfälschen. Eine Stereo-Projektion kann zwar letzteren wiederherstellen, aber nicht das Problem der Fokussier-Entkopplung lösen.

2.2 Urbanes Fahren ohne Manövereinschränkung:

Durch den eingeschränkten Bewegungsraum heutiger dynamischer Fahrsimulatoren verbleibt eine Frequenzlücke (Betz 2015). Die Bewegungsanteile in dieser Lücke sind noch zu schnell für die Darstellung durch Neigen (Tilt Coordination) und müssen daher durch die horizontale Bewegung der Fahrzeugplattform dargestellt werden. Den Anforderungen an den translatorischen Bewegungsraum von etwa $100 \times 100 \text{ m}^2$, der für eine mit dem Faktor 0.7 skalierte Bewegungsdarstellung urbaner Fahrzeugbewegungsprofile erforderlich ist (Betz, 2015), können stationäre Hexapoden mit etwa $1 \times 1 \text{ m}^2$ nicht gerecht werden. Selbst bewegte Hexapoden, sei es in einer oder in zwei Richtungen, bleiben noch unter diesen Anforderungen, wobei der Gewinn gegenüber den stehenden Hexapoden erheblich ist. Dies wird aber mit einem hohen Bau- und Betriebsaufwand erkauft.

2.3 Motorradfahrsimulation

Der Motorradfahrsimulation sollte eine noch größere Bedeutung als der Pkw-Fahrsimulation gegeben werden. Viele Versuche, die mit Pkw auf dem Prüffeld möglich sind, können aufgrund der Rutsch- und Sturzgefahr der Motorradfahrer real nicht durchgeführt werden. Neben den oben schon angeführten Grenzen, die auch für Motorradfahrsimulatoren gelten, erschweren die Besonderheiten der Motorrad-Fahrdynamik eine realitätsnahe Simulation. Insbesondere liegt dies an zwei Besonderheiten: Die Neigung des Motorrads in der Kurve und die Ausbalancierung mittels Körperverschiebung.

Zwar ist es kein Problem, ein Motorrad auf einer Simulationsplattform in gleicher Weise zu neigen wie in der Realität. Allerdings fehlt die Fliehkraft, die dafür sorgt, dass der Fahrer in der Realität kaum Querkräfte spürt, da der resultierende Kraftvektor aus Schwer- und Fliehkraft auf den Radaufstandspunkt zeigt. Stattdessen erhöht sich die nach unten wirkende Kraft auf den Aufsassen als geometrische Summe von Schwer- und Fliehkraft. Eine stimmige Simulation der Kurvenfahrt würde die Veränderung der Schwerkraft sowohl in der Richtung als auch dem Betrag erfordern, was offensichtlich unmöglich ist.

Da die Änderung der Schwerkraft nicht zu erfüllen ist, wäre zu erwarten, dass das beste Bewegungsempfinden vorliegt, wenn das Fahrzeugmockup in stationärer Kurvenfahrt vertikal ausgerichtet ist. Jedoch zeigt sich in Probandenstudien, dass trotz mangelnder Zentrifugalbeschleunigung von den Probanden die Darstellung eines endlichen Rollwinkels auf der Simulatorplattform gewünscht wird (Guth et al., 2015).

Das zweite Problem stellt die Ausbalancierung bei niedriger Geschwindigkeit dar. Anders als bei mittlerer oder höherer Geschwindigkeit besteht nur eine geringe Kreiselstabilisierung durch die langsam drehenden Räder. Die Stabilisierungsaufgabe entspricht der eines inversen Pendels mit einer Fußpunktverschiebung, die sich in engen Grenzen durch Lenkerbewegung und/oder Körperverschiebung in Bezug zum Motorrad umsetzen lässt. Nahe dem Stillstand wird der Motorradfahrer dann seine Füße auf der Fahrbahn abstützen. Sollte diese Niedriggeschwindigkeitssituation analog zum inversen Pendel simuliert werden, muss eine abstützende Trittplattform bereitgestellt werden, die ihrerseits von der Motorradführung entkoppelt sein muss.

Motorradfahrer leben typischerweise die Fahrdynamik stärker aus und sind unmittelbarer der Umgebung ausgesetzt. Dies zieht gegenüber der Autofahrsimulation entsprechend höhere Anforderungen an die Bild- und Bewegungsdarstellung nach sich.

3. NEUE ANFORDERUNGEN DURCH AUTOMATISIERTES FAHREN

Automatisiertes Fahren umfasst unterschiedliche Stufen (Level) der Automatisierung. Innerhalb dieser Level gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Ausprägungen je nach Anwendungsfall (Use-Case). Somit wird es auch eine große Zahl von Untersuchungsfragen zu diesen Ausprägungen geben. In den folgenden Abschnitten sollen zwei Aspekte vorrangig herausgehoben werden: Die Untersuchung der **Transition** von Mensch und Automation, bspw. bei der Übergabe an oder der Übernahme von der Automation zum Menschen. Diese betrifft somit Fahrzeuge, die sowohl automatisiert als auch manuell gefahren werden können. Der zweite Aspekt betrifft die Untersuchung des **Empfindens als Passagier** während einer automatisierten Fahrt. Dies betrifft nun auch fahrerlose Fahrzeuge, die keine Möglichkeit des manuellen Fahrens mehr bieten.

3.1 Transitionen Mensch-Automation und Automation-Mensch

In vorwiegend statischen Fahrsimulatoren wurden schon vielfach Transitionen von der Automation zum Menschen untersucht (bspw. von (Gold et al. 2013)). Dabei wurde festgestellt, dass mit üblichen visuellen und auditiven Reizen nur eine späte Reaktion auf die Übernahmeaufforderung erfolgte. Allerdings haben diese Untersuchungen gemeinsam die Schwäche, dass weder die Vielfalt der Übergabegestaltungsmittel genutzt wurde noch die für die Motivation der Übernahme vermutlich sehr effektive kinästhetische Stimulation. Für diese ist ein dynamischer Fahrsimulator unbedingt Voraussetzung. Schon mit stationären Hexapoden lassen sich Rucksignale erleben. Für die Darstellung einer moderaten Verzögerung als „Übernahmemotivation“ wird der Bewegungsraum allerdings nicht ausreichen.

Ferner gibt es vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten für die Anzeige des Betriebszustands der Automation, bspw. durch Augmentation der zukünftigen Trajektorie. Da-

mit lässt sich schon im Vorfeld einer Übernahme mit einem Kontrollblick die Bewusstheit über den aktuellen Modus und das aktuell geplante Manöver steigern, wodurch eine situationsangemessene Übernahme erleichtert werden könnte. Somit gibt es noch eine große Zahl an Untersuchungsfragen, wobei für den Fahrsimulator im Wesentlichen die Bewegungssimulation zu verbessern ist. Für die Fragen der HMI-Gestaltung wird ein flexibles Mock-Up benötigt, in dem die Gestaltungselemente schnell und mit geringem Aufwand zu implementieren sind.

3.2 Empfindung als Passagier

Ein wesentliches Ziel der Automatisierung des Fahrens ist die Entlastung von der Fahraufgabe und die daraus resultierende Möglichkeit der alternativen Zeitnutzung. Eigentlich ist dies kein klassisches Forschungsfeld für Fahrsimulatoren, die letztlich Werkzeuge für Driver-in-the-Loop-Untersuchungen sind. Dennoch ist auch der Fahrstil und die Fahrdynamik eines automatisierten Fahrzeugs auf die Bedürfnisse des (nicht-fahrenden) Insassen abzustimmen, wofür Fahrsimulatoren grundsätzlich geeignet sind. Tatsächlich lassen sich jedoch viele Untersuchungsfragen zu diesem Aspekt auch als Beifahrer in einem realen Fahrzeug testen, ggf. etwas verdeckt mit einem „Wizard of Oz“. Da dies sowohl einfacher als auch realistischer ist, ist der Mehrwert von einem Fahrsimulator zunächst nicht ersichtlich.

Ist man jedoch in der Lage, eine hohe Variabilität sowohl in der Darstellung der Fahrzeugumgebung als auch der darstellbaren Dynamik zu erreichen, dann ist es möglich, den Entwicklungsvorteil von Fahrsimulatoren durch den geringeren Prototypenbedarf auszunutzen. So lassen sich verschiedene Innenraumvarianten, bspw. künstliche Horizonte im peripheren Blick der Passagiere, oder Fahrdynamiksysteme zur Reduzierung von Motion-Sickness mit geringem Aufwand testen. Hierfür ist jedoch eine hohe Leistungsfähigkeit des Bewegungssystems erforderlich, da insbesondere Motion-Sickness bisher eher ein unerwünschter Nebeneffekt der Fahrsimulation war. Um bspw. valide Untersuchungen zur Reduzierung von Motion-Sickness-Effekten zu erzielen, muss sichergestellt sein, dass der Effekt nicht durch die Bewegungssimulation selbst entsteht, weshalb ein solches Vorhaben als besonders ambitioniert erscheint.

4. VERGLEICH ZWISCHEN TECHNIKKONZEPTEN UND ANFORDERUNGEN

Im Folgenden werden die genannten Technikkonzepte aus Abschnitt 1 im Hinblick auf die in den Abschnitten 2 und 3 genannten Anforderungen bewertet. In Anforderung ...

++: ... wird ohne relevante Einschränkung erfüllt/(erfüllbar)

+: ... wird mit geringen Abstrichen erfüllt (erfüllbar)

o: ... wird für ausgewählte Anwendungsfälle erfüllt

-: ... wird deutlich nicht erfüllt/(erfüllbar)

--: ... ist prinzipbedingt ungeeignet

Werte in Klammern: zukünftiges Potential

Tabelle 1 ist diese Bewertung zusammengefasst. Die Seilroboter-, Roboterarm- und Zentrifugensimulatoren sind eher für Flug- und Wahrnehmungssimulation geeignet und bringen gegenüber den sonst vorgestellten Bewegungssystemen wenig Mehrwert für die Fahrsimulation. Deshalb werden sie im Folgenden nicht näher betrachtet.

4.1 Visuelle Immersion

Für die visuelle Immersion sind in erster Linie die Bereiche Visualisierung und Fahrzeugumgebung maßgebend.

4.1.1 Visualisierung

Projektorsysteme mit hoher Auflösung und 360°-Sichtfeld bieten momentan den höchsten Stand der Visualisierung und behindern den Probanden nicht. Stereosehen kann mittels Brille erreicht werden, wobei die Bildqualität darunter zumeist leidet. Die Abstriche bei der Distanzwahrnehmung aufgrund fehlender Akkomodation verbleiben aber weiterhin.

Head-Mounted-Displays besitzen bei der Auflösung erkennbare Schwächen, die jedoch im Laufe der kommenden Jahre behoben werden dürften. Stereosehen ist prinzipbedingt enthalten. Die fehlende Akkomodation wirkt sich aber auch hier negativ auf die Tiefenwahrnehmung aus, sodass, mit leichten Einschränkungen aufgrund des Gewichts der Brille, in der näheren Zukunft ein Gleichstand zu Projektorsystemen zu erwarten ist.

4.1.2 Fahrzeugumgebung

Ein Vollfahrzeug ist weiterhin das Maß der Dinge für eine gute visuelle Immersion. Ein Teilfahrzeug erfüllt die Anforderungen aufgrund sichtbar fehlender Teile mit leichten Abstrichen.

Head-Mounted-Displays können mit besser Grafikdarstellung die Lücke verkleinern, jedoch wird der „künstliche“ Eindruck vermutlich noch lange bleiben.

4.2 Urbanes Fahren

4.2.1 Visualisierung

Für urbanes Fahren ist insbesondere ein breites Sichtfeld von hoher Bedeutung, da häufiger bspw. Schulterblicke nötig sind und enge Kurven gefahren werden, die eine stärkere Blickrichtungsanpassung erfordern. Monitore reichen offensichtlich nicht für diese Anforderungen aus. Projektorsysteme und Head-Mounted-Displays bieten hier aktuell beide die Möglichkeit eines 360° Sichtfelds und decken diesen Fall damit vollumfänglich ab, wobei die Projektionssysteme den unmittelbaren Nahbereich nicht abdecken können und die HMD heute noch nicht genügend Auflösung bieten.

4.2.2 Fahrzeugumgebung

Vollfahrzeuge entsprechen auch hier vollständig der Realität und sind deswegen ohne Einschränkungen nutzbar. Bei Teilfahrzeugen herrscht aufgrund des größeren abgedeckten Sichtfelds eine höhere Wahrscheinlichkeit im urbanen Verkehr, dass fehlende Bereiche erkannt werden.

Die virtuelle Darstellung deckt ebenfalls das Sichtfeld vollständig ab, jedoch sind an weniger häufig betrachteten Stellen gelegentlich grafische Vereinfachungen vorhanden.

4.2.3 Bewegungssystem

Die weit verbreiteten Hexapod-Bewegungsplattformen liegen selbst bei stark herunterskalierter Simulation mindestens eine Größenordnung unterhalb des für urbane Fahrscenarien notwendigen Bewegungsraums, weshalb die Szenarienauswahl stark eingeschränkt werden muss. Ein Hexapod mit einem zusätzlichen Freiheitsgrad kann mehr ausgewählte Szenarien gut simulieren, wobei diese sich entweder nur auf Quer- oder auf Längsdynamik beziehen dürfen.

Bei zwei zusätzlichen Freiheitsgraden ist der Umfang an simulierbaren Szenarien größer. Der Bewegungsraum heutiger Systeme liegt jedoch auch bei starker Skalierung immer noch deutlich unter den notwendigen Bewegungsräumen. Da jede Erweiterung des Bewegungsraums den technischen und finanziellen Aufwand erhöht, ergeben sich faktisch Grenzen mit diesem Konzept.

Selbstbewegte Plattformen (WMDS) sind nur durch die zur Verfügung stehende Fahrfläche in ihrem Bewegungsraum begrenzt. Wählt man für ein urbanes Szenario eine ausreichend große Fläche (z.B. Fahrdynamikfläche), können sämtliche Bewegungen ohne Frequenzlücke dargestellt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch eine gut ausgelegte Ansteuerung, die das Einbringen neuer Simulationsfehler z.B. infolge der Eigenschaften des Reifens verhindert.

4.3 Motorradsimulation

4.3.1 Visualisierung

Je nach Anwendungsfall ist es häufig nötig, dass der Proband in der Lage sein muss, seine Hände und Finger sowie Bedienelemente zu sehen. Dies schließt bislang eine Verwendung von HMD aufgrund ungenügender Bildauflösung sowie Möglichkeiten zur Darstellung von Mixed Reality (reale Hände in virtueller Umgebung) aus. Die Nutzung von Monitoren ist lediglich bei einer Beschränkung auf ein kleines, nach vorne gerichtetes Sichtfeld angemessen. Da jedoch z.B. bei Kurvenfahrt bisweilen große Kopfneigungen und -drehungen auftreten, muss i.d.R. ein großes Sichtfeld bereitgestellt werden – idealerweise inklusive einer Bodenprojektion. HMD können hier mit ihrer angebotenen Rundumsicht punkten. Zudem ist keine Beeinträchtigung des Fahrers durch das Aufziehen eines HMD zu erwarten, trägt er doch auch in der Realfahrt einen Helm.

4.3.2 Fahrzeugumgebung

In der Motorradsimulation gibt es kaum Gründe, von der Nutzung eines Vollfahrzeugs abzusehen. Weder Kosten-, noch Bauraum- oder Gewichtsvorteile sind zu erwarten, die dagegensprechen, ein Realfahrzeug als Grundlage für die Fahrzeugumgebung zu nutzen. Virtuelle Fahrzeugumgebungen könnten zukünftig in Kombination mit variablen Rahmengerüsten bspw. für Ergonomie-Fragestellungen herangezogen werden.

4.3.3 Bewegungssystem

Für einfache Trainingsfragestellungen (Fahrzeugbedienelemente, Verkehrsregeln) und Gefahrenwahrnehmungsstudien (bspw. Erkennung von Querverkehr) haben sich statische Motorradsimulatoren bewährt. Sobald jedoch ein korrektes Fahrerverhalten relevant für die Studiendurchführung ist, werden Maßnahmen

zur Bewegungsdarstellung nötig. Hierdurch kann ein realgetreues Beanspruchungsniveau erreicht werden. Schienengebundene Bewegungssysteme wurden bislang noch nicht im Motorradsektor angewendet, versprechen jedoch insbesondere Vorteile hinsichtlich der Längsdynamik-Darstellung. 2DoF-Systeme können sich zudem zeitlich begrenzt auf die Darstellung von Rollwinkeln auswirken. Nur die Ergänzung um einen weiteren rotatorischen Freiheitsgrad, wie durch eine mobile Plattform geboten, ermöglicht jedoch die dauerhafte Darstellung von Zentrifugalbeschleunigungen und könnte damit einen großen Sprung in der Motorradsimulation bewirken. In heutigen Anwendungen kommen am Fahrer angebrachte Aktoren zum Einsatz, um mangelnde Beschleunigungsreize durch propriozeptive Reize zu substituieren.

4.4 Transition Automatisiertes Fahren

Untersuchungen zur Transition besitzen besonders hohe Anforderungen an die Darstellung, da es für diese keine Standards gibt. Sowohl die Darstellung der automatisierten Fahrt als auch der Übernahme-/Übergabe-Elemente greifen Neuland auf.

4.4.1 Visualisierung

Die Hauptanforderung ist hier das realistische Situationsempfinden. Projektoren erzeugen zwar grundsätzlich eine hohe Güte des Empfindens, jedoch wirkt sich insbesondere die schlechte Distanzwahrnehmung bspw. bei drohenden Auffahrunfällen negativ aus. HMD liegen aufgrund schlechterer Auflösung noch zurück, können aber aufschließen.

4.4.2 Fahrzeugumgebung

Hier steht einerseits erneut das realistische Situationsempfinden, aber auch die Interaktion mit den MMS im Vordergrund. Vollfahrzeuge haben sämtliche herkömmlichen Anzeige- und Bedienelemente „an Bord“ und bilden diese vollständig und realistisch ab. Zukünftige Konzepte müssen aber durch aufwändiges Prototyping integriert werden.

Die virtuelle Darstellung leidet aktuell insbesondere unter der fehlenden Handdarstellung, die die Bedien-Interaktion erschwert und bspw. das Finden des Lenkrads bei der Übergabe erforderlich macht, wodurch Reaktionszeiten verfälscht werden. Daher müssen zunächst geeignete Lösungen für die Handdarstellung gefunden werden, um einerseits die Lücke zum Vollfahrzeug zu schließen und andererseits den Vorteil „virtueller“ Mensch-Maschine-Interaktion zu nutzen.

4.4.3 Bewegungssystem

Es spricht viel dafür, Übernahmeaufforderungen mit Bewegungsreizen zu verknüpfen. Deshalb ist die Darstellbarkeit dieser Aufforderungen an dieser Stelle das Bewertungskriterium. Hexapod-Plattformen können zumindest Rucke darstellen und durch langsames Neigen sehr niederfrequente Beschleunigungen.

Mit translatorischer Schiene lassen sich bei ausreichendem Bewegungsraum in Kombination mit der Tilt Coordination auch langanhaltende Verzögerungen als

Reiz darstellen. Selbstfahrende Fahrsimulatoren haben diesen Bewegungsraum grundsätzlich und können auch realistische Anhaltevorgänge simulieren.

4.5 Passagierempfinden

Für Untersuchungen zum Passagierempfinden werden besonders hohe Anforderungen an die Immersion gestellt, da keine Fahraufgabe die Probanden vom dem Empfinden ablenkt.

4.5.1 Visualisierung

Hier stehen insbesondere das abdeckbare Sichtfeld und die Detailtiefe der Darstellung im Vordergrund, da der Insasse während der automatisierten Fahrt viel Gelegenheit hat, sich mit der Umgebung zu beschäftigen.

Projektorsysteme decken das 360° Sichtfeld mit hoher Auflösung ab, allerdings könnte der Fahrer beim Schauen aus dem Fenster erkennen, dass in direkter Nähe um das Fahrzeug, also vor der Projektionswand, keine Visualisierung vorliegt. HMDs haben dieses Problem nicht, da auch direkt um das Fahrzeug die Visualisierung erzeugt wird. Aktuell leiden sie jedoch noch unter der schlechten Auflösung, was sich jedoch voraussichtlich verbessern wird. Bleiben wird aber der Nachteil der nicht unerheblichen Traglast für den Probanden.

4.5.2 Fahrzeugumgebung

Kriterien sind hier die Anpassbarkeit der Fahrzeugumgebung für schnelle Variationen des Innenraums sowie die Interagierbarkeit mit dem Fahrzeug.

Schnelle Variationen sind mit dem Vollfahrzeug ohne Prototypenbau überhaupt nicht möglich. Dementsprechend würde bei diesem Konzept kein Vorteil gegenüber einer chauffierten Fahrt bestehen, sodass keine konkrete Fahrsimulatoranwendung besteht.

Mit virtueller Darstellung lassen sich auch ohne Prototypenbau verschiedene Innenraumvarianten durchspielen. Aktuell sind jedoch wegen der fehlenden Handdarstellung Abstriche bei der Interagierbarkeit hinzunehmen.

4.5.3 Bewegungssystem

Um Untersuchungen zur Reduktion von Motion-Sickness-Effekten durch Fahrzeugkomponenten durchführen zu können, muss das Bewegungssystem selbst so gut sein, dass praktisch keine unerwünschte Motion-Sickness mehr aus der Bewegungssimulation entsteht. Dies ist von aktuellen Simulatorkonzepten nicht erfüllbar, da diese mit dem zur Verfügung stehenden Bewegungsraum immer eine Frequenzlücke aufweisen und sich Abweichungen zum realen Beschleunigungsverlauf dementsprechend nicht vermeiden lassen. Damit lässt sich nicht ausschließen, dass das Bewegungssystem selbst Motion-Sickness verursacht.

Selbstbewegte Plattformen können zwar die Frequenzlücke schließen. Jedoch sind der Trajektorie mit sich bringen, sodass dies wieder einer chauffierten Fahrt entspricht.

4.6 Zusammenfassung

Für die Gegenüberstellung in einer Tabelle wird folgende Skala angewandt:

Anforderung ...

++: ... wird ohne relevante Einschränkung erfüllt/(erfüllbar)

+: ... wird mit geringen Abstrichen erfüllt (erfüllbar)

o: ... wird für ausgewählte Anwendungsfälle erfüllt

-: ... wird deutlich nicht erfüllt/(erfüllbar)

--: ... ist prinzipbedingt ungeeignet

Werte in Klammern: zukünftiges Potential

Tabelle 1: Bewertung der Technikkonzepte im Hinblick auf die aktuellen und zukünftigen Anforderungen

	Visuelle Immersion	Urbanes Fahren	Motorrad	Transition AD	Passagierempfinden
Visualisierung					
• Monitore	-	-	-	-	--
• Projektorsysteme	+	+	+	+	+
• HMD	o(+)	+(++)	o(++)	o(+)	o(+)
Fahrzeugumgebung					
• Rudimentärer Fahrstand	-	-	-	-	--
• Teil-/Vollfahrzeug	+/++	o/++	/++	++	-
• Virtuell	o(+)	+	o(+)	o(+)	o(+)
Bewegungssysteme					
• ohne		--	-	-	--
• Hexapod		-	o	o	-
• Hexapod mit einer Schiene		o	(+)	+	-
• Hexapod mit 2DoF-Schienen		+	(+)	+	o
• Hexapod mit in 2DoF bewegten Luftkissen		+	(+)	+	o
• Selbstfahrender mobiler Fahrsimulator		++	(++)	++	(+)

5. FAZIT

Der etablierte Standard der dynamischen Fahrsimulation auf Basis der Hexapod-Plattform bietet für viele Untersuchungszwecke ausreichend Nutzungspotenzial. Die Vollfahrzeugumgebung mit 360°-Projektorsystemen in einem zweidimensional erweiterten Bewegungssystem bieten den zurzeit höchsten Stand der Immersion, aber wenig Entwicklungspotenzial.

Vollständig virtuelle Welten mittels Head-Mounted-Displays sind noch in den Kinderschuhen, aber sie können, gerade in Verbindung mit den selbstbewegten Plattformen, die Untersuchungsmöglichkeiten vervielfachen, ohne dass jetzt schon Grenzen abzusehen sind. Zudem bieten sie die Möglichkeit, der Aufwandsexplosion zu entkommen.

DANKSAGUNG

Herrn Raphael Pleß, M.Sc., danken wir für die Einordnung der Motorradsimulation.

LITERATUR

Arend, W., Kupke, P. (1982). Anforderungen an Fahrsimulatoren zur Untersuchung des Fahrer-Fahrzeug-Verhaltens, sowie der verkehrstechnisch relevanten Eigenschaften von Straßenentwürfen. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Ed.), *Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik*.

Baumann, G., Riemer, T., Liedecke, C., Rumbolz, P., Schmidt, A., Piegsa, A. (2012). The New Driving Simulator of Stuttgart University. In: ATZlive (Ed.), *Proceedings - 12th Stuttgart International Symposium Automotive and Engine Technology*. Wiesbaden.

Betz, A. (2015). *Feasibility Analysis and Design of Wheeled Mobile Driving Simulators for Urban Traffic Simulation*. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss. 2014. *Fortschrittberichte VDI: Reihe 12: Vol. 786*. Düsseldorf: VDI-Verl.; VDI-Verlag.

Biemelt, P., Henning, S., Rüddenklau, N., Gausemeier, S., Trächtler, A. (2018). A Model Predictive Motion Cueing Strategy for a 5-Degree-of-Freedom Driving Simulator with Hybrid Kinematics. In: A. Kemeny, F. Colombet, F. Mérierne, & S. Espié (Eds.), *Proceedings of the Driving Simulation Conference 2018 Europe*.

Bruschetta, M., Maran, F., Cenedese, C., Beghi, A., Minen, D. (2016). An MPC-Based Motion Cueing implementation with Time-Varying Prediction and drivers skills characterization. In: *Proceedings of DSC 2016 Europe Driving Simulation & Virtual Reality Conference & Exhibition: Paris, France, September 7-9, 2016*.

Carlsson, A., Baumann, G., Schmidt, A., Reuss, H.-C. (2009). VALIDATE - Eine virtuelle Forschungsplattform: Optimierung von Fahrzeugsystemen hinsichtlich des Energieverbrauchs. In: *14. VDI-Tagung: Erprobung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung*.

Chapron, T., Colinot, J.-P. (2007). The new PSA Peugeot-Citroën Advanced Driving Simulator Overall design and motion cue algorithm. In: *Proceedings of the Driving Simulator Conference 2007: The University of Iowa, Iowa City, Iowa* (pp. 58–66).

Clark, Allen, Sparks, Hugh, Carmein, Judy (2001). Unique Features And Capabilities Of The NADS Motion System. In: *17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. Internetadresse: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-01/ESV/esv17/Proceed/00246.pdf>

Donges, E. (2002), Bayrische Motoren Werke AG DE000010106150A1. Germany.

Drop, F. M., Olivari, M., Katliar, M., Bülthoff, H. H. (2018). Model Predictive Motion Cueing: Online Prediction and Washout Timing. In: A. Kemeny, F. Colombet, F. Mérierne, & S. Espié (Eds.), *Proceedings of the Driving Simulation Conference 2018 Europe*.

Fang, Z., Tsushima, M., Kitahara, Eiichi, Machida, Naoya; Wautier, D., Kemeny, A. (2017). Fast MPC based motion cueing algorithm for a 9DOF driving simulator with yaw table. In: *Proceedings of DSC 2017 Europe Driving Simulation*

& Virtual Reality Conference & Exhibition: Stuttgart, Germany, September 6-8, 2017.

Fischer, M. (2009). *Motion-Cueing-Algorithmen für eine realitätsnahe Bewegungs-simulation. Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik: Vol. 5.* Braunschweig: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Guth, S., Geiger, M., Will, S., Pless, R., Winner, H. (2015). Motion cueing algorithm to reproduce motorcycle specific lateral dynamics on riding simulators. In: *Proceedings of DSC 2015 Europe*.

Miermeister, P., Lachele, M., Boss, R., Masone, C., Schenk, C., Tesch, J., . . . Bulthoff, H. H. (2016). The CableRobot simulator large scale motion platform based on cable robot technology. In: *IROS 2016: 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems : October 9-14, 2016, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea* (pp. 3024–3029). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7759468>

Murano, T., Yonekawa, T., Aga, M., Nagiri, S. (2009). Development of High-Performance Driving Simulator. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 2(1), 661–669. <https://doi.org/10.4271/2009-01-0450>

Negele, H. J. (2007). Anwendungsgerechte Konzipierung von Fahrsimulatoren für die Fahrzeugentwicklung (Dissertation). Technische Universität München, München.

Schiewe, M. (2016). Projektionstechnologie für hochdynamischen Fahrsimulator an der RWTH Aachen. Internetadresse: <https://www.fokus.fraunhofer.de/32773a1661490de6>

Schöner, H.-P. (2015). Dynamische Fahrsimulatoren. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, & C. Singer (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3rd ed., pp. 139–154). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Schöner, H.-P. (2018). Automotive Needs and Expectations towards Next Generation Driving Simulation. In: A. Kemeny, F. Colombet, F. Mérienne, & S. Espié (Eds.), *Proceedings of the Driving Simulation Conference 2018 Europe* (pp. 11–16).

Stewart, D. (1965). A platform with six degrees of freedom. *ARCHIVE: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1847-1982 (Vols 1-196)*, 180(1965), 371–386. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1965_180_029_02

Teufel, H., Nusseck, H.-G., Beykirch, K., Butler, J., Kerger, M., Bühlhoff, H. (2007). MPI Motion Simulator: Development and Analysis of a Novel Motion Simulator. In: *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*. <https://doi.org/10.2514/6.2007-6476>

Tüschen, T., Prokop, G. (2013). Development of a highly dynamic driving simulator. In: *16th ITI-Symposium*.

VI-grade. (2017). VI-grade Driver-in-Motion. Internetadresse: <https://www.driver-inmotion.com/>

Wentink, M., Bles, W., Hosman, R., Mayrhofer, M. (2005). Design and Evaluation of Spherical Washout Algorithm for Desdemona Simulator. In: *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*. <https://doi.org/10.2514/6.2005-6501>

Zeeb, E. (2010). Daimler's New Full-Scale, High-dynamic Driving Simulator – A Technical Overview. In: A. Kemeny, F. Mérienne, & S. Espié (Eds.), *Proceedings of the DSC 2010 Europe: Paris, France, September 9-10, 2010* (157–165).

WIZARD-OF-OZ EXPERIMENTS IN REAL TRAFFIC – CAN THEY RESTART HUMAN FACTORS?

Dietrich Manstetten, Claus Marberger, Frank Beruscha

ABSTRACT

Since decades driving simulators have been considered as a valid approach to do experimental research in driver-vehicle interaction. They provide a means to put the driving task in the lab and to do the study in a controlled and safe environment. The more it comes to automated driving, the less of the driving task is remaining for the driver. Nevertheless, there are still human factors issues to be analyzed. Is the driving simulator suitable when it comes to user experience of an automated ride?

Some twelve years ago, the researchers at Volkswagen pioneered the approach of a “Wizard-of-Oz (WOz) vehicle” in the context of driver assistance systems. In the WOz vehicle, the driving task is performed by the (more or less) invisible wizard, and specific situations can be created for the person on the driver seat in real vehicles in real traffic. This approach became more popular when it comes to automated driving, because here the wizard can take over the role of a not-yet-existing automation function directly.

The presentation covers three main sections. In the first part, the principle is motivated and different concepts are described: right-hand drive vehicle, wizard on the co-driver’s seat, wizard in the back, or the “ghost driver”. The second part gives example results of different studies, which have been performed at Bosch in the Ko-HAF project or at BAST within an FAT project. These studies dealt with human factors questions about non-driving related tasks (NDRT), take-over performance, or with general acceptance and user experience. The third part concludes with an assessment about the chances and limits of Wizard-of-Oz experiments in the context of automated driving.

WHAT’S WOZ? WIZARD-OF-OZ EXPERIMENTS IN AUTOMATED DRIVING

The methodical question of how to run human factors experiments in automotive context has been widely discussed and, definitively, there is no simple answer. It depends on feasibility, validity, safety, cost and multiple other facets. For a wide range of questions, driving simulators are considered as the best means, as they are joining advantages of controlled lab environment, reasonable cost, guaranteed safety with good realism of the driving task. With increasing automation of the vehicle systems being studied, the driving task gets less important. For sure, there are still aspects which can be perfectly analyzed in a driving simulator, but the need for a good user experience of the automation may be hardly fulfilled in a simulator environment. Therefore, in our opinion the guiding question of the colloquium “Hands off, Human Factors off? - what is the role of Human Factors in Vehicle Automation?” also asks for other methodical approaches to study human factors in automated driving.

Wizard-of-Oz (WOz) experiments are well-known in human-computer interaction and are described as “a research experiment in which subjects interact with a computer system that subjects believe to be autonomous, but which is actually being operated or partially operated by an unseen human being” (Wikipedia, 2019). In the automotive environment, the WOz method has been particularly used for interaction with voice-controlled systems, see e.g. (Geutner et al., 2002).

The concept to use the WOz approach to simulate parts of the driving task in a real vehicle came up at Volkswagen about ten years ago, see (Schmidt et al, 2008). It was used for rapid prototyping and usability testing of driver assistance systems, e.g. a traffic sign recognition and a lane keeping assistance. The wizard was hidden behind a dividing wall in the back of a station wagon (VW Sharan). We call this concept “wizard in the back”.

The principle became more popular for higher levels of vehicle automation, as it is a relatively easy way to realize a safe control of a vehicle, at least in comparison to a complete functional vehicle automation. Some differences in the concepts were undertaken, depending on objectives of a study and effort of wizard realization. We identify these concepts in four categories:

- **Ghost driver:** the wizard controls the vehicle in a normal way from the driver’s seat, but is invisible to the exterior, e.g., by wearing a seat costume. The approach is particularly useful for experiments how external traffic participants react on an automated car, as the vehicle appears to be driverless. For an example, see (Rothenbuecher et al., 2016).
- **Right-hand drive vehicle:** the wizard controls the vehicle from the driver’s seat in a right-hand vehicle as it is manufactured for left-hand traffic. The subject sits at the left behind a separating wall. The values of a non-functional steering wheel and pedals for the subject may be used for the wizard to create the illusion of functionality, as it is done in (Wang et al., 2017).
- **Wizard on passenger seat:** the vehicle is controlled by hidden elements, which are operated by the wizard from the passenger (co-driver) seat. The subject can control the vehicle as usual when in non-automated mode. The concept is described in further detail below with the Bosch WOz vehicle.
- **Wizard in the back:** The concept as used originally by Volkswagen, (Schmidt et al., 2008) has a wizard driver in the back of the car, hidden by a dividing wall. The experiment described in Chapter 2.2 was performed by use of a “wizard in the back” vehicle as well, see (Klamroth et al., 2019).

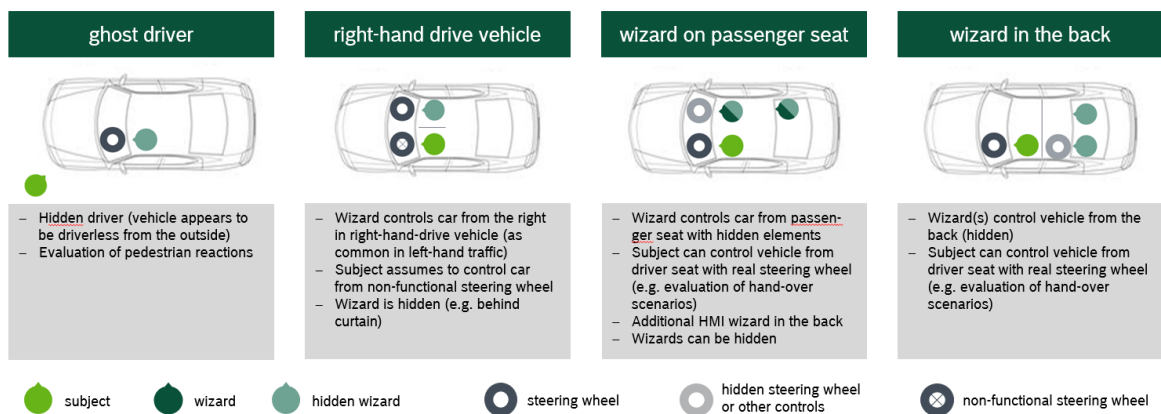


Figure 1: Concepts for WOz experiments in Automated Driving.

At Bosch research premises in Renningen (Germany) a WOz vehicle of type “wizard on passenger seat” has been setup, allowing the co-driver (sitting on the right, also referred to as wizard driver) and an HMI Wizard (sitting in the back) to demonstrate various automation designs (ranging from SAE L1 to SAE L5 features). The co-driver’s environment is equipped with additional (hidden) control devices for performing lateral and/or longitudinal control as well as other driving related secondary tasks (use of turn indicator, wiper, lights, etc.). The HMI wizard’s task is to remotely control the HMI that is associated with the automation feature (e.g. visual feedback on instrument cluster, speech output, etc.).

Depending on the targeted automation level two operating modes are distinguished:

- **Driving Assistance Mode (SAE L1/2):** In this operating mode the wizard driver is used to mimic an advanced driver assistance system intervening in lateral and/or longitudinal control. The maximum level of intervention is limited in order to guarantee permanent overridability by the driver. In this mode the driver on the left remains fully responsible at all times for maintaining the safety of the vehicle.
- **Automated Driving Mode (SAE L3/4/5):** In this operating mode, full authority over vehicle control is shifted to the wizard driver upon driver request. Once the wizard driver has taken over, the HMI permanently signals the system status and potentially issues requests to intervene. As long as the wizard driver is responsible for vehicle control, steering intervention on the original steering wheel is blocked. For safety reasons the wizard driver only transfers control back to the driver upon request.

The safety concept of the WOz vehicle is based on three pillars:

- **Vehicle:** All vehicle’s adaptations have been guided by dedicated safety requirements.
- **Drivers:** Only trained and certified wizard drivers are allowed to control the vehicle from the co-driver’s seat. Detailed instructions concerning system operation must be given to users of the vehicle before driving on public roads.
- **Operational conditions:** There are limitations when and where to offer a L3/4/5 automation feature (e.g., only at speeds lower than 120 km/h). Additionally, a detailed risk analysis is done for the experimental conditions of each individual study.



Figure 2: Bosch WOz vehicle. Automation related HMI (left); wizard driver on the co-driver seat (middle); experimenter and HMI wizard on the back seat (right). Figure taken from (Berghöfer et al., 2018).

EXAMPLE RESULTS OF WOZ EXPERIMENTS IN REAL TRAFFIC

This section gives some results out of experiments using WOz vehicles. It's beyond the scope to give all details; the descriptions rather serve as examples for insights on human factors questions in automated driving, created in real-traffic environment.

Take-over Time Demand in Level 3 Automated Driving

Within the framework of the project “Ko-HAF - Cooperative Highly Automated Driving”, funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, the partners Bosch and Würzburg Institute for Traffic Sciences WIVW performed an empirical study on Level 3 Automation using the Bosch WOz vehicle of type “wizard on passenger seat” described above. Objective of the study was to examine how the actual driver state may influence the time required to take back manual vehicle control if a Request to Intervene (Rtl) is issued by the system during automated driving. For details see (Berghöfer et al., 2018).

N = 34 participants took part in the study, which was undertaken on German free-ways. While driving in Level 3 automation (which was in fact simulated by the wizard driver from the co-driver seat), the subjects were asked to engage in Non Driving Related Tasks (NDRT). Five NDRTs were chosen in the study, affecting the sensory, motoric and cognitive state of the driver in different ways. They consisted of an audio listening task, a reading task, a backseat-searching task, playing Tetris on an installed tablet and a reference task (supervision of the vehicle environment). See Figure 3 for additional information on the tasks.

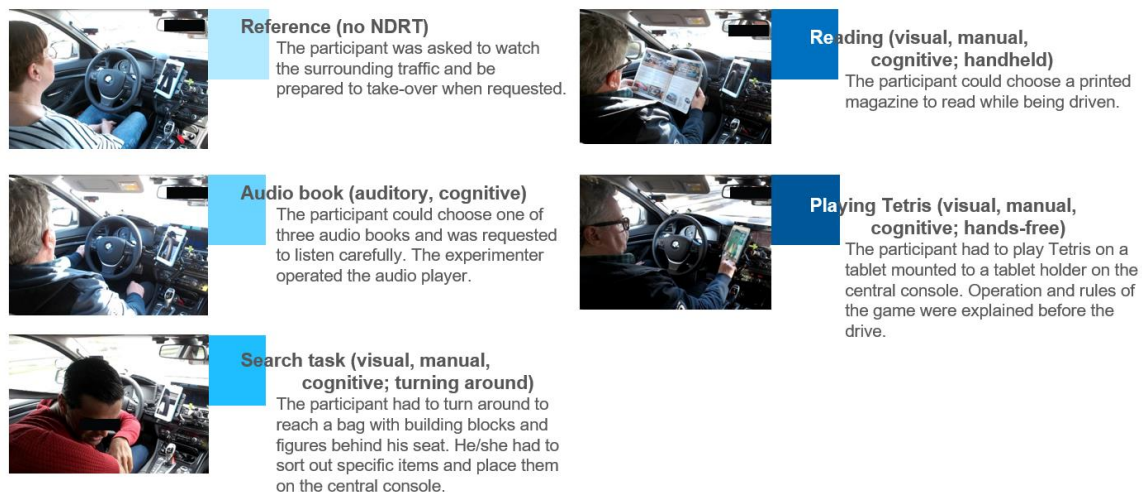


Figure 3: NDRTs used in the Ko-HAF WOz experiment. (Berghöfer et al., 2018).

During the engagement in a NDRT, a Rtl was issued after a short period of approximately 5 or a longer period of approximately 15 minutes, and the driver had to take-over manual vehicle control again. In order to do this, he had to deactivate the system by pulling two levers on both sides of the steering wheel (an instructed way for activation / deactivation, which is visualized in Figure 4).

Figure 5 shows the effects of specific NDRTs on different take-over time components. The values for “lever pulled” correspond to the usual definition of take-over time (TOT, according to (Marberger et al., 2017)), as this indicates the moment of

the first significant driver intervention. The average TOT is the longest for the search and the reading task (~ 5 s), shortest for the reference task, and a bit longer for the audio book task (~ 3 s). The average TOT after playing Tetris is in between (~ 4 s). The mean time for the “first gaze to front” component is roughly equally long for the search task, the reading task as well as the Tetris task, whereas the time to free the hands is the longest for the reading task and the shortest for the Tetris task.

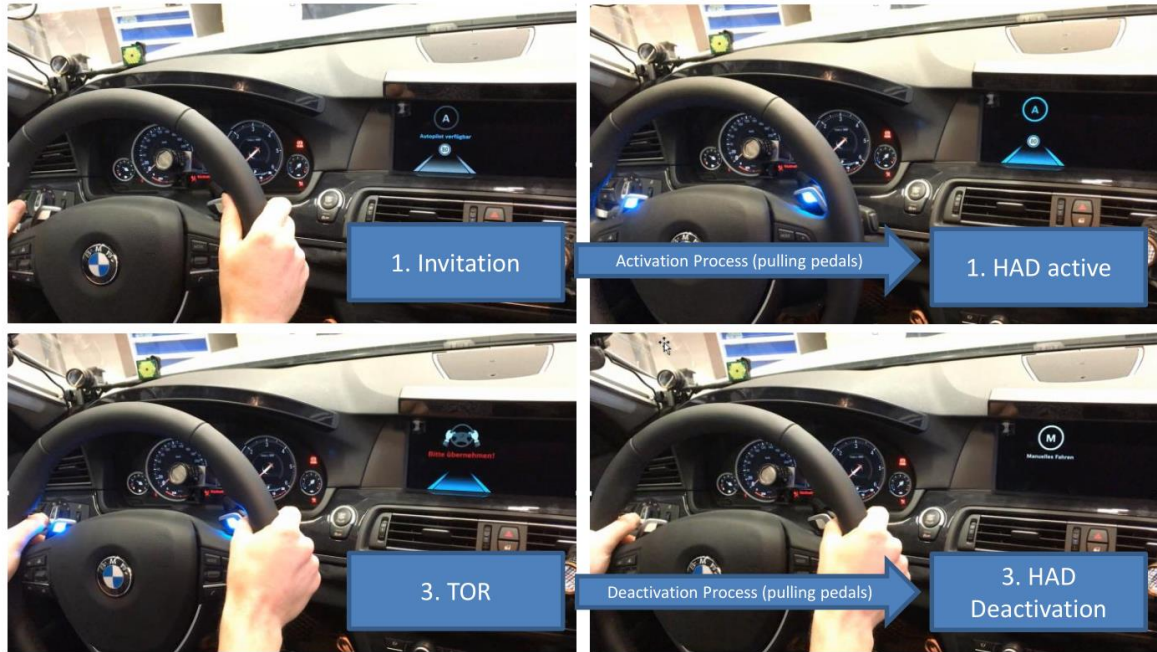


Figure 4: Average duration of different take-over time components.

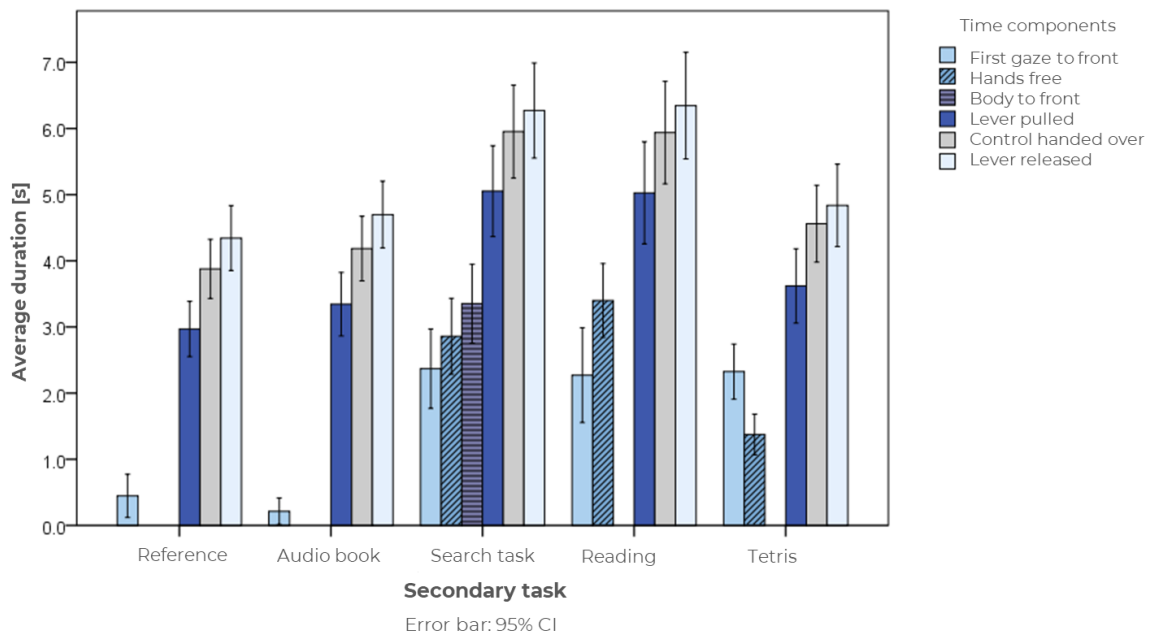


Figure 5: Average duration of different take-over time components.

Based on the collected data, (Berghöfer et al., 2018) gives some additional insights on the effects of different driver characteristics (type of visual behavior, self-rated sleepiness right before the Rtl, attitude towards automated driving, previous experience with ACC systems, individual reaction speed, age and gender) on take-over

time and quality. The results are planned to be used for prediction of take-over duration from actual driver behavior, driver characteristics and secondary tasks.

Temporal development of take-over time

The German Federal Highway Research Institute (BASt, Bundesanstalt für Straßenwesen) was contracted by the Research Association for Automotive Technology (FAT, Forschungsvereinigung Automobiltechnik) to work on the evaluation of potential risks caused by level 3+ automated driving. Amongst other things, the BASt performed real traffic experiments on the freeway using their WOz vehicle of type “wizard in the back”.

Several hypothesis have been formulated in advance to be assessed by the empirical study. One of these hypothesis claimed that the experience in take-over situations has an impact on the take-over time TOT; it was stated as “The more take-over situations are handled by the driver, the shorter the take-over time will be.”

N = 25 subjects are taken for the assessment shown in Figure 6. Each of these subjects performed the complete course of roughly 120 km in length on freeways around Cologne, Germany. They experienced seven periods of automated driving (realized by the wizard driver), which were terminated after different driving distances of 2 to 15 kilometers with a Request to Intervene Rtl. Hence, a total of 175 take-over situations is used for the analysis. It should be noted, that there are not only random differences between the situations due to traffic flow, but also systematic differences, e.g. Rtl 1, 2, 5, and 6 was realized in three lane sections of the freeway, the other three Rtl 3, 4, and 7 in two lane sections.

The mean value of all the 175 TOT measured was 3.64 sec, with a standard deviation of 1.28 sec. The minimum value was 2.02 sec, the maximum value 8.24 sec, and the 90th percentile of all values was 5.73 sec. There is a tendency of slightly decreasing take-over time over the number of the situation, which is not significant, (Friedman-Test gives $\chi^2(6) = 7.57$, $p = .271$). Details of the analysis and many further aspects of the work will be published in (Klamroth et al., 2019).

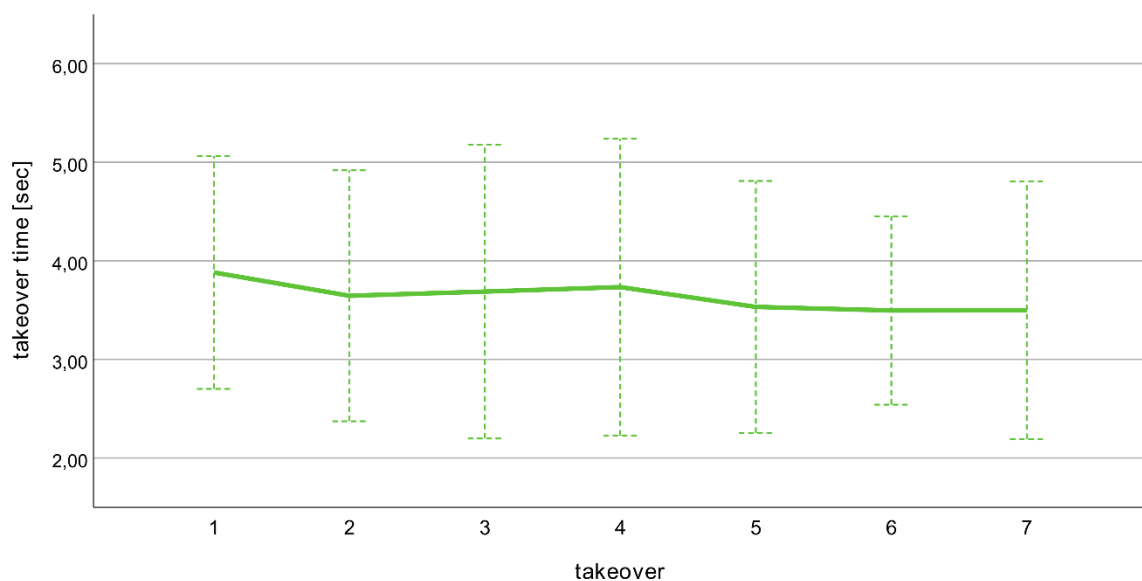


Figure 6: Development of take-over time in dependence of number of situation. Figure from (Klamroth et al., 2019).

User Experience and Visual Behavior

In autumn 2018, the Bosch WOz vehicle of type “wizard on passenger seat” (see Chapter 1 for details) was used in a company-internal experiment to analyze the general user experience and user behavior when interacting with a higher level automation feature over a period of several rides. For this purpose, teams of wizard drivers and HMI wizards were trained to demonstrate a L4 feature along a 18 km route connecting the two Bosch locations “Schillerhöhe” and “Renningen”. The ride included different types of roads and traffic environments - urban, rural and freeway, see Figure 7.

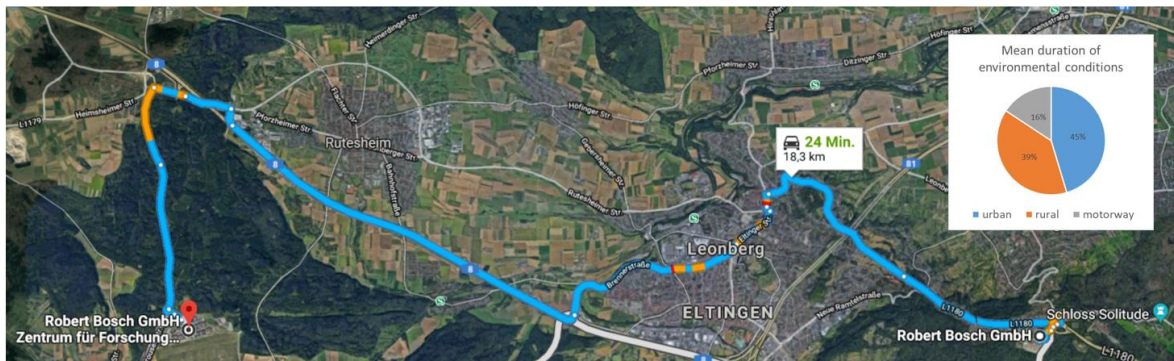


Figure 7: Test route driven by a WOz-based L4 automation feature.
Image source: Google Maps, 2018.

The course was designed to be representative for a successful automated transfer between the two locations, thus not including any interruptions by requests to intervene, unforeseen by the subject. The HMI was prepared to give feedback on basic system states (automation mode, Rtl) and additional system information (current speed limit, type of preceding vehicle, traffic light status, right of way regulation); see Figure 8.

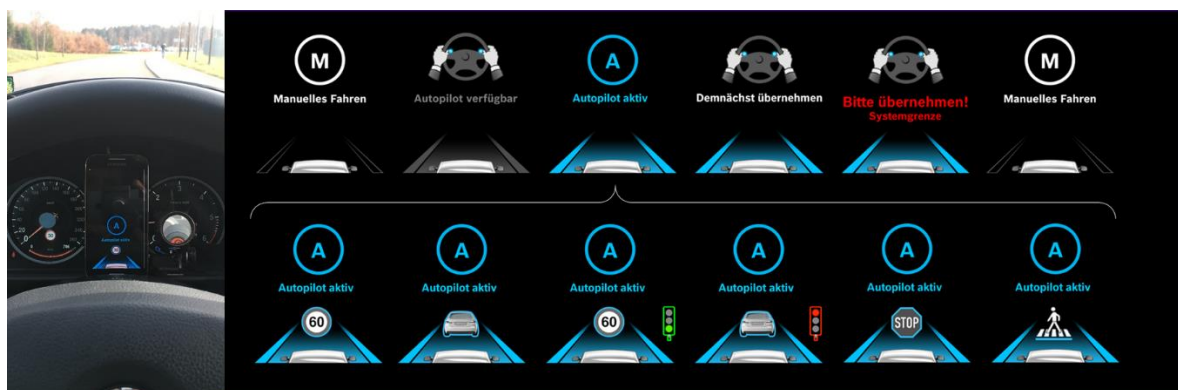


Figure 8: Visual HMI showing basic system states (top row) and additional system information while in L4 automated mode (bottom row).

Twelve volunteers were recruited to take part in the study on two separate sessions (each one covering the two rides back and forth). One of the main objectives of the study was to look at changes over time concerning the attitude towards automation, system trust, visual behavior and engagement in NDRTs. For visual behavior, in-vehicle videos were analyzed with respect to the following (exemplary) hypotheses:

- Total Eyes-off-the-Road Time increases with system experience

- Number of gazes towards the Automation HMI decreases with system experience

The off-line analysis suggests that the average total Eyes-off-the-Road time indeed slightly increases. Regarding the average number of gazes towards the automation related HMI a small decreasing effect can be seen over the course of the drives (see Figure 9). The main result, however, points towards the huge inter-individual differences in visual behavior. Rather than applying statistical testing procedures to confirm real differences, in-depth analysis of individual behavior was chosen to learn how visual behavior, engagement in NDRT, and attitude towards automated driving interact with each other. Further reporting on these results is beyond the scope of this paper and is not published so far.

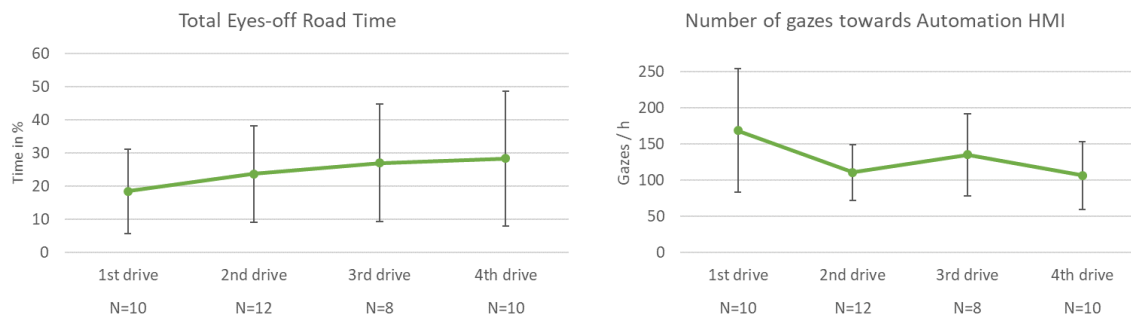


Figure 9: Development of two exemplary gaze measures over the course of the WOz study.

DISCUSSION OF WOZ METHOD FOR HUMAN FACTORS RESEARCH IN AUTOMATED DRIVING

For the discussion about the role of Wizard-of-Oz experiments for human factors research in automated driving, we concentrate on the concepts of “wizard on the passenger seat” and “wizard in the back”. This results from the following two aspects: on the one hand, the “ghost driver” concept focuses on the human reactions of the outside world, and does not study the vehicle interior at all; very interesting and promising, but somewhat different. On the other hand, we are not having own experience concerning the “right-hand drive vehicle” concept, and different realizations of the concept may widely differ in opportunities.

A comparison of driving simulator and Wizard-of-Oz studies will be published in (Purucker et al., 2019). For this approach, the experiment described in Chapter 2.1 was repeated in the static driving simulator of the Würzburg Institute for Traffic Sciences WIVW with $n = 21$ subjects. Figure 10 shows a comparison between the take-over times (TOT) achieved in the WOz experiment (already shown in Figure 5) and the driving simulator. They show a good relative agreement, but with slightly lower values in the driving simulator, where the average TOT is roughly 1 s lower.

From this perspective, driving simulator experiments can realize behavioral results which are comparable to those from WOz studies. This is especially true, when taking principle drawbacks of driving simulators into account, e.g. in reproducing exact values of driving variables like distance or lane position, as observed in reality. Some

further discussion of methodical comparison between the two can be found in (Feldhütter et al., 2018).

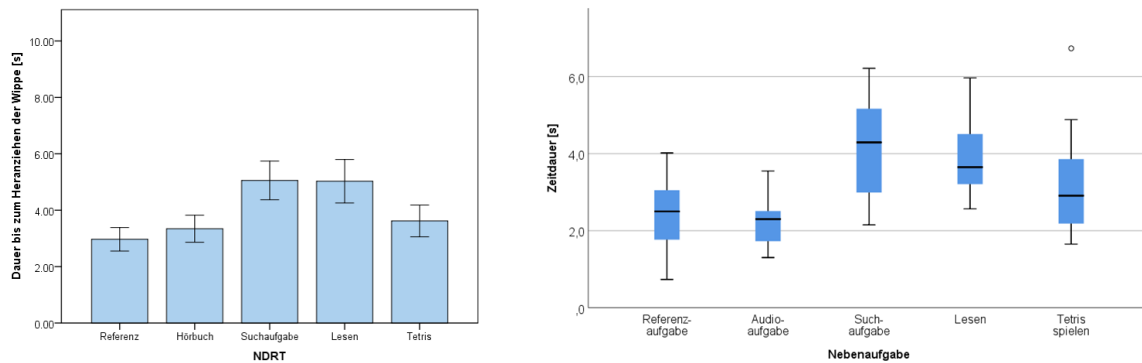


Figure 10: Comparison of TOT from WOz experiment (see Chapter 2.1) and aligned driving simulator experiment. To appear in (Purucker et al., 2019).

To give some summarizing pros and cons, let's start with some remarks, where the WOz concepts "wizard on the passenger seat" and "wizard in the back" are not really good in or where we do observe clear limitations and issues:

- **Safety-critical situations:** as the charm of the approach is the driving in real traffic, any safety-critical situations have to be avoided by design of the experiment and careful execution. In principle, the WOz concept can be transferred to the test track, but in this environment it loses large parts of the benefit.
- **Driving style of the wizard driver:** the different control elements and the different seating position (especially when sitting in the back), which are needed to create the illusion, make it hard for the wizard driver to mimic the driving style of an automation function completely. Training may compensate that to a certain extent.
- **Experimental reproducibility and ease of measurement:** traffic situations on real roads have to be taken widely as they are, and measuring the traffic environment introduces all issues we know from full-scale environmental sensing. These two aspects are definitely much more complicated for WOz in comparison to a driving simulator.
- **Long-term behavior:** a long-term study on changes of the user's behavior in a scale of weeks and months can be neither achieved with driving simulators nor with WOz vehicles. We don't see any method which can predict the behavioral changes after months of constant usage in a reliable way.
- **Ethical considerations:** fooling the subjects about the real background can cause irritations or annoyance on their side. This gets more critical, when the cheating is kept for a longer time, e.g., due to desired repetition of the experiment. On the other hand, that's a basic part of all kind of WOz experiments, not fundamentally changed for automated driving.
- **Publicity:** the more public interest the WOz approach receives, the harder it will be to recruit naïve subjects, which are buying into the story they are told. On the other hand, scientific discussion of results including the underlying method is needed for any human factors research.

But definitely, there is high potential in the WOz approach for automated driving, and we see the following main points:

- It works: the credibility and fidelity of the automated driving is very convincing to the users. We observed success rates of almost 100% believing in the technical nature of the experiment.
- User experience: The approach creates a real experience of automated driving and allows naïve subjects to understand what it can mean to them, which is unmatched by any description or simulator experiment. The majority of the opportunities for human factors research are resulting out of this experience.
- Shift between monitoring the automation and secondary tasks: The realistic environment of the overall driving situation allows the subject after a first learning phase to engage and disengage in non-driving related tasks in a natural way. Depending on the instruction of possible take-over needs (i.e., the level of the simulated automation), he can show a realistic shift between on-road and off-road observance.
- System acceptance: The evaluation of the acceptance of automated driving needs the right model on the side of the interviewee, which is created out of the own experience.
- Trust: the trust in the automation technology is biased for a WOz experiment by the trust in the experimenter as well, but it seems to be much easier for the subjects to understand the notion of being driven by a technical system and to rely on it.
- Design ideas: we observed an extremely high quality of the feedback and ideas given by the subjects wrt the function of the automation, the control input and HMI output which is needed for them, and other interior and exterior design options. This quality is unmatched by other approaches of demonstrating the automation function.
- It even works when being informed about the wizard: subjects which are informed about the true nature of the role of the wizard driver in advance, can easily forget about it. This allows them to get nearly the same kind of experience as if they are not informed, and to behave in the same way.

Overall, the wizard-of-Oz approach is not the holy grail of human factors research in automated driving, but a convincing and valuable enhancement of the methodical tool kit. It allows for additional insights and bridges some gaps between driving simulator and the possible future reality.

REFERENCES

Berghöfer, F.; Purucker, C.; Naujoks, F.; Wiedemann, K.; Marberger, C. (2018). Prediction of Take-over Time Demand in Conditionally Automated Driving - Results of a Real World Driving Study. In: D. de Waard, K. Brookhuis, D. Coelho, S. Fairclough, D. Manzey, A. Naumann, L. Onnasch, S. Röttger, A. Toffetti, and R. Wiczorek (Eds.): Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018 Annual Conference. ISSN 2333-4959 (online). Available at <https://www.hfes-europe.org/wp-content/uploads/2018/10/Purucker2018.pdf> (accessed Jan. 28, 2019)

Feldhütter, A.; Hecht, T.; Bengler, K. (2018). Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren. FAT Schriftenreihe Nr. 307, April 2018. Available at

<https://www.vda.de/de/services/Publikationen/fat-schriftenreihe-307.html>
(accessed Jan. 28, 2019)

Geutner, P.; Steffens, F.; Manstetten, D. 2002. Design of the VICO Spoken Dialogue System: Evaluation of User Expectations by Wizard-of-Oz Experiments. In: Proceeding of the 3rd International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC), 2002.

Klamroth, A.; Zerbe, A.; Marx, T. (2019). Transitionen bei Level 3-Automation: Einfluss der Verkehrsumgebung auf die Bewältigungsleistung des Fahrers während Realfahrten. FAT Schriftenreihe (to appear, will be available online).

Marberger, C.; Mielenz, H.; Naujoks, F.; Radlmayr, J.; Bengler, K.; Wandter, B. (2017). Understanding and Applying the Concept of „Driver Availability“ in Automated Driving. In N. Stanton (ed.), Advances in Human Aspects of Transportation. AHFE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing (Vol 597, S. 595-605). Cham: Springer Verlag.

Purucker, C.; Befelein, D.; Neukum, A.; Marberger, C. (2019). Non-critical state transitions during conditionally automated driving on freeways: Comparing results from a driving simulator and a Wizard-of-Oz. DSC 2019 Europe^{VR}, 18th Driving Simulation & Virtual Reality Conference & Exhibition. Strasbourg, Sept. 4-6, 2019. (to appear)

Rothenbücher, D.; Li, J.; Sirkin, D.; Mok, B.; Ju, W. (2016). Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles. In: 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). IEEE, 2016, 795-802.

Schmidt, G.; Kiss, M.; Babbel, E.; Galla, A. (2008). The Wizard on Wheels: Rapid Prototyping and User Testing of Future Driver Assistance Using Wizard of Oz Technique in a Vehicle. In: Proceedings of the FISITA 2008 World Automotive Congress, Munich.

Wang, P.; Sibi, S.; Mok, B.; Ju, W. (2017). Marionette: Enabling On-Road Wizard-of-Oz Autonomous Driving Studies. In: Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. ACM, 2017, 234-243.

Wikipedia (2019). Wizard of Oz experiment. Available at https://en.wikipedia.org/wiki/Wizard_of_Oz_experiment (accessed Jan. 28, 2019)

NUTZERERLEBNIS & AUTOMATISIERUNG: HERAUSFORDERUNGEN – KRITERIEN – METHODEN

Guido Meier-Arendt

ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem hoch automatisierten Fahren (HAF) verändert sich die Aufgabenstellung für die Ergonomie im Fahrzeug. Zusätzlich zu Gestaltungsfragestellungen im Rahmen typischer, sog. „Out of the Loop“ Thematiken (z.B. mangelndes Situationsbewusstsein, mangelndes Modusbewusstsein) wird es künftig vermehrt um Fragestellungen des Nutzererlebnisses (sog. „User Experience“) gehen. Der Beitrag thematisiert Konstrukte des Nutzererlebnisses und was benötigt wird, um ein positives Nutzererlebnis beim HAF zu erzeugen. Dazu gehören User Experience Dimensionen wie z.B. die Kontrollierbarkeit, der Neuheitswert oder die wahrgenommene Attraktivität. Ferner wird dargestellt, wie die Kriterien im Rahmen einer nutzerzentrierten Vorgehensweise (sog. User Centered Design) gemessen werden können. Es wird erörtert, was zu einem erweiterten Methodenrepertoire im Rahmen des „User Centered Design“ gehören sollte und welche Veränderungen inhaltlicher und organisatorischer Art das für den Entwicklungsprozess von Interaktionskonzepten bedeuten kann.

1. HERAUSFORDERUNGEN DURCH DAS AUTOMATISIERTE FAHREN

Unter dem Einfluss von Entwicklungen hin zum hoch automatisierten Fahren (HAF) werden psychologische Konstrukte, welche die sog. User Experience (UX) beeinflussen, an Bedeutung gewinnen. Während beim manuellen Fahren und beim Fahren in niedrigen Automatisierungsstufen (SAE Level 2 und geringer) bei der Gestaltung von Interaktionskonzepten primär Kriterien der Passung zur Fahraufgabe sowie der Aufgabenverteilung zwischen System und Nutzer und damit beispielsweise die Gestaltung von Systemübergängen zwischen automatisiertem und manuellem Fahren im Vordergrund stehen, gilt es bei der Konzeption von Interaktionskonzepten für das automatisierte Fahren in höheren Automatisierungsstufen (SAE Level 3 und höher) positive Erlebnisqualitäten durch die Interaktion mit fahrfremden Tätigkeiten herzustellen.

Für die „Ergonomie“ bedeutet dies eine Aufgabenerweiterung bei der Entwicklung künftiger Interaktionskonzepte: Von der „Passung zur Fahraufgabe“ zur „Passung zur erwarteten Erlebniswelt“. Dies betrifft auch Fragestellungen zur Schnittstellengestaltung auch außerhalb des Fahrzeugs. Den Anlass bilden erweiterte Mobilitäts-szenarien wie zum Beispiel das Car Sharing. Fahrzeughersteller und Zulieferer sehen sich künftig auch in der Rolle als Mobilitätsdienstleister. Damit geht es um die Gestaltung der gesamten Erlebniskette: Vor, während und nach der Nutzung von HAF. Dazu gehören Aktivitäten wie die Buchung von Mobilitätsdiensten, Anpassung von Entertainmentinhalten über Cloud-Dienste, bis hin zur Initiierung und Überwachung von automatisierten Einparkvorgängen und Fragestellungen der sog. „letzten Meile“.

Damit automatisiertes Fahren eine Erfolgsgeschichte wird, geht es nicht nur darum, Lösungsansätze für die „Out of the Loop“ Herausforderungen zu finden, sondern

darüber hinaus einen erlebbaren Mehrwert (durch die Automatisierung) für den Endnutzer zu schaffen. Dieser hängt unmittelbar mit den in Abhängigkeit der jeweiligen Automatisierungsstufe möglichen Freiheitsgraden zur Durchführung fahrfremder Tätigkeiten zusammen: Niedrigere Automatisierungsstufen (SAE Level 2 und geringer) erfordern per Definitionem eine permanente Überwachung und permanente Bereitschaft zur Übernahme von (teil)automatisierten Fahrfunktionen (SAE J3016:2016-09, 2016). Damit geht eine stark eingeschränkte Möglichkeit zur Durchführung fahrfremder Tätigkeiten einher. Abgesehen davon, dass der Mensch prinzipiell ein schlechter Überwacher ist (Bainbridge, 1983), erscheint aus Sicht der User Experience eine Automatisierungsstufe, die weitgehend keine anderen fahrfremden Tätigkeiten als beim manuellen Fahren erlaubt, wenig geeignet, um ein insgesamt positives Nutzungserlebnis zu erzielen.

Zur Gestaltung von Interaktionskonzepten für HAF Anwendungen sind sowohl ergonomische Basiskriterien für das HAF – im folgenden „Hygienefaktoren“ genannt – als auch User Experience (UX) bezogenen Faktoren zu berücksichtigen. Hygienefaktoren der Automatisierung stellen im Wesentlichen „Out of the Loop“ Effekte dar (z.B. mangelnde Situationsbewusstheit, mangelndes Modusbewusstsein), beinhalten aber auch Aspekte mit Bezug zur Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit, die beispielsweise vor, während und nach Übernahme-situationen greifen. Hygienefaktoren bilden eine notwendige Bedingung für ein positives Gesamterlebnis der Automatisierung, während auf die User Experience bezogene Faktoren, wie Stimulanz, Neuheitswert und Attraktivität eine hinreichende Bedingung für ein positives Gesamterlebnis der Automatisierung darstellen. Eine zentrale Rolle nimmt hierbei die erlebte Qualität der Integration und Nutzung fahrfremder Tätigkeiten ein.

Es gilt: Ohne die Beachtung der Hygienefaktoren kann kein positives Gesamterlebnis entstehen. Andererseits genügt die bloße Bereitstellung von Lösungen für die „Out of the loop“ Fragestellungen nicht: Erst wenn zusätzlich Anforderungen zur Erreichung einer positiven UX erfüllt sind, kann ein positives Gesamterlebnis „automatisiertes Fahren“ entstehen.

Im Folgenden wird beschrieben, mit welchen Methoden im Rahmen des User Centered Design (UCD) Prozesses sowohl ausgewählte Hygienefaktoren als auch auf die UX bezogene Faktoren gemessen werden und welche Gestaltungsprinzipien für die Interaktion herangezogen werden können, um sowohl die Hygienefaktoren als auch die UX Kriterien zu erreichen.

1.1 Hygienefaktoren des hoch automatisierten Fahrens

Bei der Berücksichtigung von Hygienefaktoren des HAF geht es zentral um ein gut ausbalanciertes Maß an Vertrauen: Weder soll dem Nutzer ein Übermaß an Vertrauen in die Automatisierung vermittelt werden, noch soll der Nutzer Misstrauen schöpfen. Hier allerdings haben sowohl die Continental Mobilitätsstudie von 2013 als auch eine Studie von 2018 eindeutig gezeigt, dass die Nutzer noch ein recht geringes Vertrauen in die Automatisierung aufweisen.

So verdeutlicht die Continental Mobilitätsstudie von 2013 (Continental, 2013, S.23) (vgl. Abb.1.), dass in Deutschland 48 % der Befragten (Grundgesamtheit: 1800) zweifeln, ob das HAF je zuverlässig funktionieren wird, in den USA sogar 50 % (Grundgesamtheit: 2300). 52 % in Deutschland gaben an, dass HAF sie ängstigt, in den USA stimmten 66 % dieser Aussage zu. Die jüngste Continental Mobilitätsstu-

die von 2018 (Continental, 2018, S.13) konnte eher eine gewachsene Skepsis aufzeigen: 62 % der Befragten in Deutschland äußern Ängste gegenüber dem HAF (2013: 52 %). In den USA ist das Bild noch deutlicher. Möglicherweise unter dem Einfluss erster Unfälle mit HAF äußerten hier 77 % der Befragten Ängste gegenüber dem HAF (2013: 66 %). Bei isolierten automatisierten Fahrfunktionen dagegen ist die Zustimmung höher: Jeweils etwa zwei Drittel der Autofahrer in Deutschland, den USA und China würden beispielsweise ein System nutzen, das sie bei der Durchfahrt in engen Baustellen unterstützt.

Attitudes towards Automated Driving: Americans get more scared – due to some accidents?

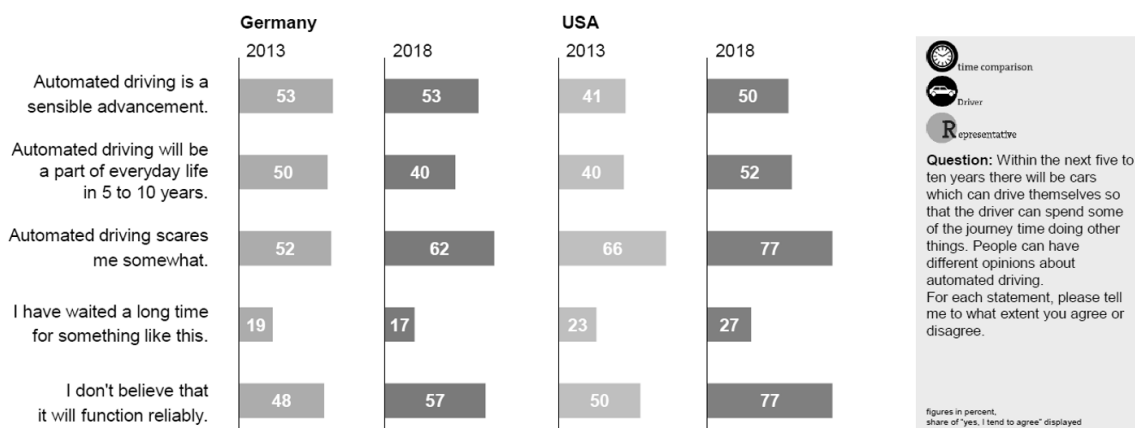


Bild 1: Continental Mobilitätsstudie: Einstellung zum automatisierten Fahren. Ergebnisse aus dem Jahr 2013 und aus dem Jahr 2018.

Schon diese Zahlen machen deutlich, worum es beim Nutzererlebnis in einem automatisierten Fahrzeug vorrangig geht: Um das Entstehen von Vertrauen, das beispielsweise mit dem Fragebogen "Trust in Automation" erhoben werden kann (Körber et al., 2015).

Dass das Konstrukt Vertrauen für den Endnutzer eine zentrale Rolle spielt, zeigt sich auch schon in den Äußerungen und Rückmeldungen von Probanden einer von Continental durchgeführten qualitativen Studie von 2017 zur Bewertung eines Interaktionskonzepts für den sog. Cruising Chauffeur. Hierbei handelt es sich um einen SAE Level 3 Demonstrator für Autobahnen (Auf- und Abfahrten ausgenommen), mit Anpassung an Staus und Stop-and-go-Verkehr.

Ziel der Studie war die Erhebung qualitativer Daten (lautes Denken, Interviewtechniken) zur ersten Bewertung der Hygienefaktoren des HAF und der UX.

Die Versuchsteilnehmer sollten im Rahmen eines Feldtests mittels eines „Wizard of OZ Ansatzes“ folgende Funktionen und Features des HAF nutzen:

- Aktivierung des HAF

- Deaktivierung des HAF
- Initiieren eines Fahrmanövers (Fahrspurwechsel) bei aktivierter Automatisierung
- Wechsel von Ansichten zur Darstellung der unmittelbaren Umgebung des Ego-Fahrzeuges
- Takeover Request (TOR): Wiederaufnahme der manuellen Fahrtätigkeit
- Eine Beschäftigung mit einer fahrfremden Tätigkeit wurde angeboten (z.B. Zeitung lesen)

Die Ergebnisse der qualitativen Studie zeigen, dass offensichtlich die Darstellung von Objekten aus dem unmittelbaren Verkehrskontext entscheidend zur Vertrauensbildung beiträgt.

Zu den weiteren Hygienefaktoren des HAF gehört das „Out of the Loop“ Phänomen, eines mangelnden Modusbewusstseins: Der Nutzer ist sich unsicher darüber, in welchem Automatisierungs-Betriebszustand sich sein Fahrzeug befindet (automatisiert vs. manuell) bzw. was das Fahrzeug als nächstes Manöver plant oder ob bzw. wann der Nutzer die Fahraufgabe wieder zu übernehmen hat. D.h. der Nutzer ist sich unsicher, *ob* eine Reaktion von ihm erwartet wird, *wann* sie erfolgen muss und *worin* sie besteht. Hier ergaben sich aus der Continental Studie (Meier-Arendt, 2018) Hinweise, dass sich eine multimodale Informationsausgabe zur Darstellung von HAF Modi vorteilhaft sowohl auf das Modus- als auch auf das Situationsbewusstsein auswirkt.

Folgende Modalitäten sind zum Einsatz gekommen:

- Visuelle Informationsausgabe: Digitales Kombiinstrument und ambiente Informationsausgabe über ein LED Leuchtband im Bereich der Windschutzscheibenwurzel
- Akustische Informationsausgabe (Sprachausgabe, Earcons)
- Haptische Informationsausgabe (Sitzvibration). Dass sog. vibrotaktile Anzeigen Potenzial haben, gerade auch abgelenkte Nutzer in TOR Situationen zu unterstützen, konnte eine Studie aufzeigen (Petermeijer et al., 2017).

Zur Vorbereitung der Wiederaufnahme der manuellen Fahrtätigkeit kam ein gestuftes Informationskonzept zum Einsatz. Die Probanden wurden im Vorfeld der Wiederaufnahme auf das bevorstehende manuelle Fahren vorbereitet, indem ihnen strecken- und später zeitbezogene Informationen visuell und akustisch mit zunehmender Dringlichkeit vermittelt wurden. Alle Probanden waren in der Lage die Fahrtätigkeit erfolgreich, d.h. situationsangemessen zu übernehmen. Allerdings beschäftigten sich die Probanden – trotz ausdrücklicher Instruktion – nicht mit fahrfremden Tätigkeiten, was wohl auch auf die insgesamt nur ca. eine Stunde dauernde Testprozedur zurückgeführt werden kann.

1.2 UX Dimensionen und Kriterien

Wie der Nutzer sein Fahrzeug während Phasen der Automatisierung erlebt, hängt von zahlreichen Konstrukten ab: Dazu gehören wie oben bereits ausgeführt, Aspekte des Vertrauens, der Attraktivität, die erlebte Stimulation durch das HAF, der Neuheitsgrad, die Effizienz der Automation sowie die Frage, wie leicht die Nutzung zu verstehen und zu erlernen ist (UX Fragebogen siehe (Meier-Arendt, 2018)). Indem der Nutzer erlebt, dass das System zuverlässig, vorhersehbar und damit erwartungskonform Fahrsituationen bewältigen kann, erlebt sich der Nutzer um seine Leistungsmöglichkeiten erweitert. Ein damit einhergehendes Kontrollerlebnis und die Wahrnehmung, sich damit auch selbstbestimmt mit fahrfremden Tätigkeiten auseinandersetzen zu können, bilden eine entscheidende Grundlage für ein positives Gesamterlebnis „HAF“.

Hierbei spielt die Antizipation von Informationsbedürfnissen eine zunehmend große Rolle: Basierend auf gelernten Nutzerpräferenzen und gelernten Verhaltensweisen ist das Fahrzeug in der Lage, Informations- und Unterhaltungsbedürfnisse zu antizipieren und unter Berücksichtigung des jeweiligen Nutzungskontextes entsprechend bereitzustellen. Dabei können sog. digitale Assistenten unterstützen indem sie, je nach erforderlicher Unterstützung und erforderlichem Informationsbedarf, unterschiedliche Rollen annehmen: Je nach Kontext und Verfassung des Nutzers kann der Assistent als Begleiter (Companion/Buddy), als Helfer und Trainer (Coach) oder als Unterhalter (Entertainer) auftreten.

Die Berücksichtigung des gesamten Nutzungskontextes, d.h. die Fahrzeugumgebung, Fahrzeugtyp- und zustände sowie intra- und interindividuelle Nutzerunterschiede nehmen bei der Gestaltung von Interaktionskonzepten für HAF eine zentrale Rolle ein. Hierbei zeigt eine Metaanalyse (Körber & Bengler, 2014) individuelle Differenzen in der Interaktion mit der Automation in Bezug auf: Disposition (z.B. Reaktionszeit), Eigenschaften (z.B. Neigung zum Tagträumen), Fahrerzustand (z.B. Müdigkeit), Einstellung (z.B. Vertrauen in die Automatisierung) und demographische Variablen (z.B. Alter).

Zur Bewertung von Dimensionen des Fahrerzustands verwendet Continental eine Innenraumkamera. Die Fahrerüberwachung ermöglicht u.a. eine Blickrichtungserkennung und z.B. eine Bewertung des Müdigkeitszustands und kann Aufschluss über die Ausprägung des Orientierungsverhaltens in Phasen der Übergabe vom automatisierten zum manuellen Fahren geben: Das System muss „wissen“, ob bzw. wie schnell der Nutzer die Aufgabe des Fahrens wieder übernehmen kann, also ob der Nutzer z.B. durch gezeigtes Orientierungsverhalten – wie Spiegelblicke – für eine Wiederaufnahme der manuellen Fahrtätigkeit vorbereitet ist.

Den Schlüssel für eine ganzheitliche Entwicklung, die den gesamten Nutzungskontext berücksichtigt, bildet eine nutzerzentrierte Vorgehensweise, der sog. „User Centered Design“ (UCD) Prozess.

2. METHODEN DES USER CENTERED DESIGNS

Abbildung 2 zeigt den Ablauf der Entwicklungsphasen im UCD. Die entscheidende Grundlage für ein positives Gesamterlebnis ist – wie bereits dargestellt – das Beherrschen systemergonomischer Hygienefaktoren des HAF (wie z.B. Situationsbewusstsein, Vertrauen, Modusbewusstsein) zur Gestaltung nutzergerechter Interaktionskonzepte für HAF-Anwendungen (der „Pflichtteil“). Ein insgesamt positives Nutzererlebnis (die „Kür“) greift erst dann, wenn diese Grundlage erfüllt ist. Dann allerdings wird das Nutzererlebnis zum Differenzierungskriterium im Wettbewerb und entscheidet nach Ansicht von Vermarktungsexperten über den Markterfolg.

User Centered Design

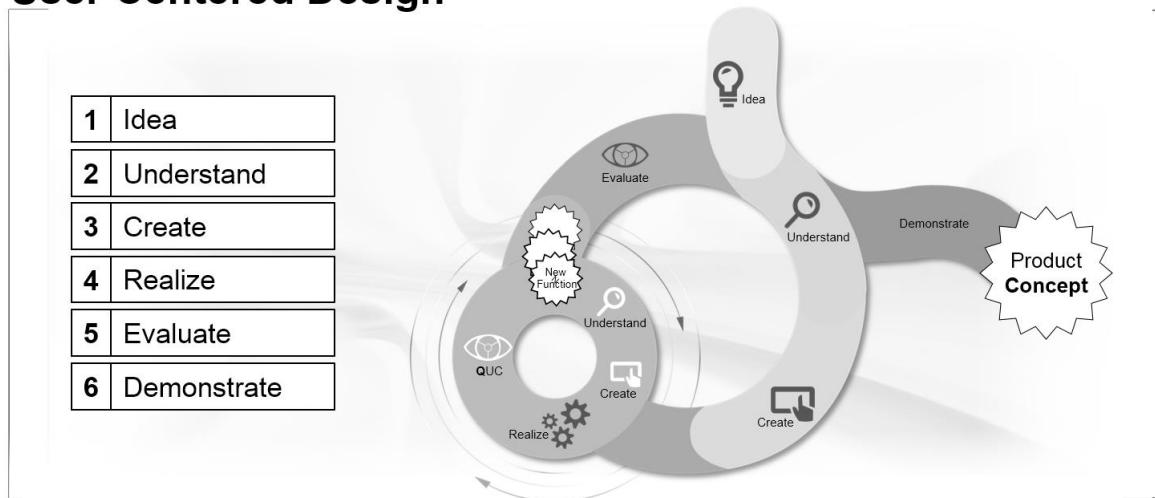


Bild 2: Die Phasen des User Centered Design (UCD).

Eine nutzerzentrierte Vorgehensweise bei der Entwicklung von Interaktionskonzepten stellt sicher, dass ein ganzheitliches Interaktionskonzept entsteht, das den Nutzer in allen Phasen der Automatisierung unterstützt; d.h. in seinen Leistungsmöglichkeiten und Grenzen berücksichtigt und abholt, indem sich das System adaptiv verhält. Dabei geht es primär darum, zentrale Aufgabenstellungen des HAF gut erfüllbar und akzeptabel zu gestalten; also die Aktivierung und Abschaltung des HAF, die Konfiguration des HAF (gewünschter Informationsumfang, Darstellung von Informationen, Fahrstil der Automation), der Ablauf einer Aufforderung seitens der Automation an den Nutzer, die Fahraufgabe wieder zu übernehmen; den Einfluss des Fahrers auf automatisierte Manöver zu berücksichtigen (Fahrer-dynamik-Verhalten, die Anzeige geplanten Manöver, die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern und die Interaktion mit internet-gestützten Diensten über entsprechende Apps, z.B. Parkplatzreservierung). Generell greifen UCD Ansätze für Interaktionskonzepte für sämtliche Phasen der HAF, d.h. für Interaktionsphasen „davor“, „während“ und „nach“ der automatisierten Fahrt (vgl. Tabelle 1). Das gilt sowohl für vom Nutzer initiierte Interaktionsvorgänge als auch für systemseitig initiierte Vorgänge.

Vor HAF	Während HAF	Nach HAF
<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von Mobilitätsdiensten (z.B. Car Sharing) • Buchung von Parkplätzen • Nutzung von Cloud-basierenden Diensten zur Verwaltung von Nutzerprofilen (z.B. Kalenderinformationen, Präferenzen) • Konfiguration von HAF Funktionen und Eigenschaften (z.B. Fahrdynamik) • Routenplanung • Konfiguration bzw. Vorbereitung von Infotainmentinhalten (zur Nutzung während des HAF) • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivierung, Deaktivierung von HAF • Übergabe/Übergang vom manuellen zu HAF • Anzeige aktueller Modi und Fahrmanöver • Anzeige geplanter Fahrmanöver • Darstellung und Darstellungswechsel der Verkehrsumgebung • „Takeover request“ Handlungen und Vorbereitung des Nutzers auf die Wiederaufnahme • Maßnahmen, um die Fahrfähigkeit herzustellen • „on the fly feedback“: Momentane Erlebnisqualität des HAF: UX bewerten und anpassen • Infotainment- und Entertainmentinhalte nutzen • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung der HAF Fahrt • Bewertung von Einparkvorgängen • Planen und Fortsetzen der Mobilitätskette mittels weiterer Dienste (z.B. ÖPNV, People-Mover, Fahrrad) • Gegebenenfalls Anpassung der Konfiguration von HAF Funktionen und Eigenschaften (z.B. Fahrdynamik) • ...

Tabelle 1: Der User Centered Design (UCD) Ansatz greift für die Gestaltung von Interaktionskonzepten zur Aufgabenbewältigung „vor“, „während“ und „nach“ dem/des automatisierten Fahren(s).

2.1 Phasen und Methoden des UCD

Im Verlauf des UCD Prozesses geht es darum, den Nutzer in seinem Nutzungskontext zu verstehen, Anforderungen für die Aufgabenbewältigung abzuleiten und diese in eine entsprechende Interaktionskonzeption zu überführen.

Durch eine iterative Vorgehensweise erzielt ein UCD Ansatz nach dem Prinzip „Fail Fast“ eine frühe Reife im Hinblick auf die Eignung der Interaktionskonzeptgestaltung für ein positives Nutzererlebnis.

Das UCD verfolgt im Wesentlichen drei übergeordnete Ziele:

- **Qualitätssicherung:** Erstens dient das UCD dazu, die Qualität des Interaktionskonzeptes für das HAF zu steigern. Der frühzeitige Nachweis der Erfüllung von systemergonomischen Basisanforderungen (Hygienefaktoren) und UX Kriterien ist Voraussetzung für die weitere Entwicklung.
- **Kostenreduktion:** Eine frühzeitige Optimierung am Anfang des Produktentwicklungszyklus („Fail fast“) reduziert Gesamtentwicklungsumfänge.
- **Komplexität beherrschen:** UCD ermöglicht gerade auch für komplexer werdende Mobilitätsszenarien ein frühzeitiges Testen im Gesamtkontext des Fahrers im Fahrzeug (z.B. für die gesamte Mobilitätskette erforderliche Dienste, Nutzeraufgaben vor, während und nach HAF).

Im Folgenden werden einige der UCD Stationen dargestellt, die bei der Interaktionskonzeptentwicklung für den Cruising Chauffeur von Continental eine Rolle gespielt haben.

2.1.1 *Die Ideenphase*

Den Anfang des UCD bildet die Idee für ein Produkt oder einen Service. Bereits in dieser Phase fließen beobachtete Trends und Bedürfnisse am Markt ein. Dazu gehören Funktionen wie etwa die nahtlose Anbindung von Smartphones, die Integration von Apps und das Einbeziehen von cloud-basierten Nutzerprofilen aber auch die Berücksichtigung nutzergruppenspezifischer Bedürfnisse.

Als Methode kommen unter anderem Elemente aus dem sog. „Design Thinking Ansatz“ zum Einsatz. Über eine aktive und eher spielerische Auseinandersetzung mit Fragestellungen des HAF (z.B. Innenraumgestaltung) wird mit Hilfe einfachster Prototypen ein tieferes Nutzerverständnis aufgebaut.

2.1.2 *Die Phase des Verstehens*

Zu Modellierung von Nutzerbedürfnissen und Erwartungen eignet sich auch der sog. Persona-Ansatz. Dieser bildet mittels mehrerer Skalen Einstellung und Erwartungshaltung möglicher Nutzergruppen als Nutzerprototypen ab.

Auch fiktive Tagesabläufe, wie sie für eine bestimmte Persona angenommen werden können („A Day in the Life of ...“), eignen sich, um Interaktionsabläufe zu antizipieren.

Sogenannte Fokusgruppen dienen ebenfalls dazu, die Anforderungen einer definierten Nutzergruppe besser zu verstehen. Dazu werden kleinere Gruppen in einem moderierten Interviewprozess angeregt, über erste Ideen oder Fragestellungen zur Konzeption miteinander zu diskutieren. Die Spanne der Fragen reicht dabei von Wünschen und Präferenzen bis zu Nutzungs- und Kaufabsichten. Am Ende der Fokusgruppenarbeit ergeben sich konkrete Hinweise auf Aufgaben, und Anforderungen für die weitere Gestaltung von Interaktionselementen.

Ein weiterer methodischerer Zugang bilden sogenannte „Ideation Workshops“, an denen auch Endnutzer beteiligt werden können um z.B. ihre Vision des HAF darzustellen (vgl. Abb. 3.)

Ein weiterer Weg, das Verständnis für den Nutzer zu vertiefen, sind Beobachtungen im realen Nutzungskontext (sog. „Contextual Enquiries“). Als Variante davon dienen expertengestützte „Enquiries“, bei denen Experten die Rolle der Nutzer übernehmen und versuchen, Erwartungen und Erfahrungen der Nutzer aus deren Sicht anhand konkreter Nutzungsszenarien zu antizipieren.

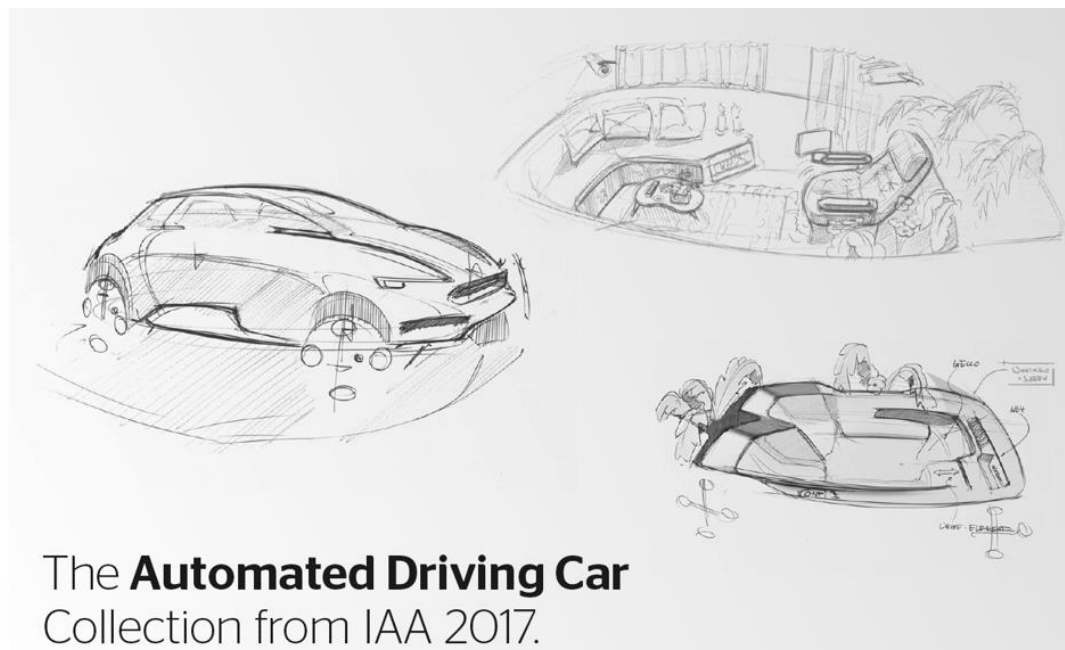


Bild 3: Innenraumkonzeption für Anwendungen im Bereich des HAF aus Nutzersicht.

2.1.3 Die Phase der Kreation

Im dritten Abschnitt des UCD werden aus den konsolidierten Informationen bezüglich Trends, Erwartungen, Präferenzen und Anforderungen, Interaktions-Gestaltungsprinzipien für einen konkreten Anwendungsfall abgeleitet.

Im Fall des Cruising Chauffeur sind dies im Wesentlichen folgende:

Ganzheitliches Informationsmanagement

- Der Fahrer erhält Informationen über verfügbare HAF-Segmente.
- Der Betriebsmodus ist unmittelbar erkennbar.
- Der Fahrer erhält Informationen zu Fahrtrouten und erwarteter Ankunftszeit (ETA).

Systemtransparenz

- Ein multimodaler Ansatz stellt sicher, dass Informationen zum Systemverhalten wahrgenommen und korrekt interpretiert werden.
- Der Fahrer erkennt und versteht, „was“ das System erkennt und damit auch, worauf es regelt.

Direkte, zentralisierte Bedienbarkeit zentraler HAF Funktionen

- Zur Bedienung von Funktionen des HAF wird ein separates Bedienelement bereitgestellt (sog. „Smart Control“). Damit werden folgende Funktionen bedient:
- Kooperative Funktionen (z.B. Beeinflussung der Manöverstrategie).
- HAF Aktivierung / Deaktivierung.
- Anpassung der Darstellung der Umgebung.
- Anpassung von Fahrstrategie (Geschwindigkeit, Abstand zum Vordermann).

Dynamisch angepasstes Informationsmanagement

- Anpassung der Übernahmeaufforderung auf Basis erkannter Nutzerzustände (z.B. Blickrichtung).
- Nutzergerechtes Management fahrfremder Tätigkeiten (z.B. Fortsetzen eines Videostreams, sobald HAF wieder zur Verfügung steht).

Für diese Anforderungen wird nun ein System- und Interaktionskonzept gestaltet. Um abzusichern, dass zentrale Grundfunktionen des entstehenden Systems auch nutzbar und akzeptabel sind, wurden für den Cruising Chauffeur immer wieder Evaluierungen mit Usability- und UX-Bezug auch in sehr frühen Konzeptphasen durchgeführt (iterative Entwicklung im Rahmen eines agilen Entwicklungsansatzes).

2.1.4 Die Phase der Realisierung

In der Realisierungsphase wird eine Gestaltung beispielsweise für die Interaktionsprinzipien, die Menüinhalte sowie die -optik erarbeitet und in bewertbaren Prototypen dargestellt. Die Prototypen werden in kurzen Iterationsschleifen getestet und dabei auf ihre Nutzbarkeit und das Nutzererlebnis, das sie erzeugen, untersucht. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fließen in weitere Optimierungsschleifen bzw. Weiterentwicklungen ein.

2.1.5 Die Phase der Evaluierung

Liegen nach mehreren Iterationsschleifen ein oder mehrere realisierte Use Cases vor, so schließt sich eine umfassende Evaluierung des bis dato erreichten Ergebnisses an. Zur Bewertung des Gesamt-Nutzungserlebnisses kann der sog. „User Experience Questionnaire“ (UEQ) herangezogen werden (Laugwitz et al., 2006). Der Fragebogen misst mittels 26 Skalen die Konstrukte Attraktivität, Verständlichkeit, Effizienz, Kontrollierbarkeit, Stimulanz und Neuheitswert.

Neben Simulator-Studien werden auch Feldtests unter realen Fahrbedingungen durchgeführt (Meier-Arendt, 2018). Hierzu hat Continental ein sog. User Experience Research Vehicle entwickelt (vgl. Abb.4). Das Rechts-Lenkerfahrzeug verfügt über einen Fahrerarbeitsplatz (auf der Beifahrerseite), der mit einem Vorhang abgeschirmt ist. Für den Nutzer (Proband) am Hauptfahrerarbeitsplatz stellt sich die Fahrt so dar, als könne er im Verlaufe der Testfahrt eine automatisierte Fahrt einleiten, in der das UX Research Vehicle automatisiert fährt. Tatsächlich übernimmt in dieser Phase jedoch der zweite menschliche Fahrer („Wizard“) auf der Beifahrerseite. So ist eine Erprobung des HAF und der zugehörigen Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr möglich.

Im UX Research Vehicle wird der Proband außerdem von einem Versuchsleiter auf dem Rücksitz begleitet. Der Versuchsleiter hat die Aufgabe, den Ablauf sowie die Inhalte von Interaktionsprozeduren zu steuern, die Datenerhebung zu kontrollieren sowie ggf. den Probanden zu interviewen.

User Experience Research Vehicle



UX Research vehicle

- › Observing users behavior under realistic driving conditions
- › Focus on user experience
- › Independent from the technology implementation progress



Vehicle setup

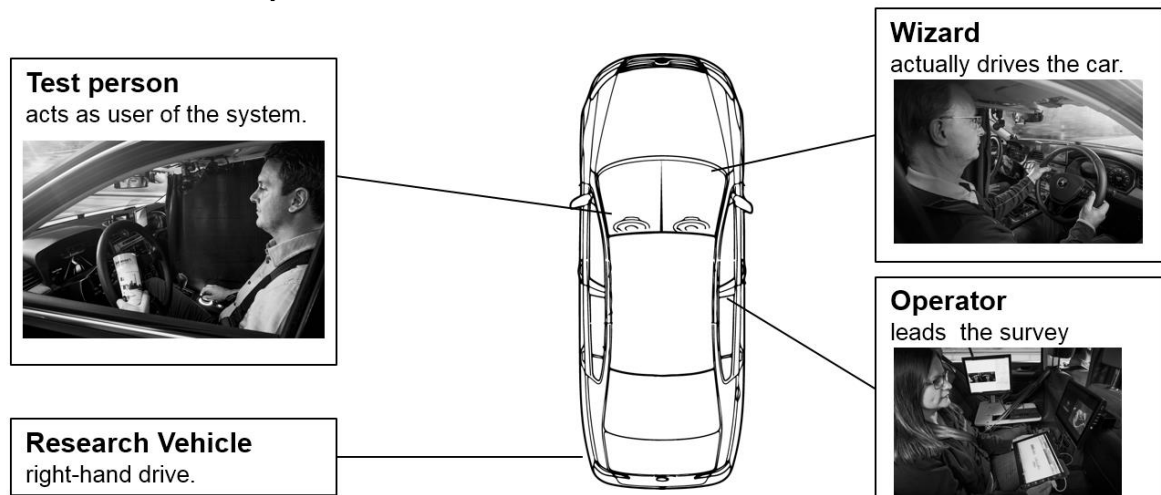


Bild 4: Das User Experience Research Vehicle von Continental.

Mittels einer qualitativen Feldstudie, die im Rahmen der Konzeptentwicklung für den Cruising Chauffeur durchgeführt wurde, sollten erste Erkenntnisse bezüglich der Hygienefaktoren Vertrauen und Situationsbewusstheit und Modusbewusstsein sowie zu UX bezogenen Kriterien gewonnen werden.

Hierzu hatten 10 Probanden (7 Männer, 3 Frauen, Durchschnittsalter 44) die Aufgabe, den Cruising Chauffeur zu aktivieren, zu deaktivieren und die Fahraufgabe nach systemseitiger Aufforderung wieder zu übernehmen (TOR).

Erste Ergebnisse auf Basis von Interviewdaten, „lautem Denken“ und Beobachtungen durch den Versuchsleiter deuten darauf hin, dass das Interaktionskonzept zu einer für die Wiederaufnahme der Fahrtätigkeit ausreichenden Situationsbewusstheit und Modusbewusstheit sowie zu einer insgesamt eher positiven UX beiträgt (vgl. Tabelle 2).

	Vertrauen	Situationsbewußtsein	Modusbewusstsein	UX (positiv)	UX (negativ)
„Jetzt kann ich dem Cruising Chauffeur vertrauen“	x				
„Darstellung erkannter Fahrzeug ist vertrauensbildend“	x	x			
„Umso größer das Vertrauen, umso mehr fühlte ich mich als Passagier“	x			x	
„gute Visualisierung der Manöver“			x	x	
„Zeit für etwas anderes zu nutzen...“				x	
„Instruktionen waren hilfreich“				x	
„es war von meiner Seite aus nicht so viel zu tun“				x	
„unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten der Umgebung mochte ich“		x		x	
„AD Controller war einfach zu bedienen“				x	
„Design von den Anzeigen mochte ich“				x	
„kein Fahrspaß mehr“					x
„es war klar, wann AD zur Verfügung stand“			x		
„personalisierbare Fahrstile sollten angeboten werden“					x
„erkannte Fahrzeuge früher darstellen“					x
„korrekte Perspektive der erkannten Fahrzeuge nutzen“					x

Tabelle 2: Probandenrückmeldungen im Rahmen einer qualitativen Studie zur Bewertung der UX des Cruising Chauffeurs

3. AUSBLICK

3.1 Social Media Intelligence

Neben den beschriebenen Methoden zur Erhebung und Auswertung des Nutzererlebnisses können darüber hinaus noch Informationsquellen aus dem Bereich von Social Media Plattformen genutzt werden. So teilen Nutzer in Blogs und Foren – in der Regel ungefiltert – ihre Erfahrungen im Umgang mit Produkten oder Dienstleistungen. Mittels des auf diese Weise „User-Generated Content“ können erste Erkenntnisse bezüglich Anforderungen und Einstellung zu Produkten analysiert werden.

3.2 Lean UX

Damit nun nutzerzentrierte Vorgehensweisen einerseits und agile Entwicklungsprozesse andererseits optimal miteinander verschränkt werden können, haben sich auch Ansätze aus dem sog. „Lean UX“ bewährt. Hierzu werden vom beteiligten Entwicklungsteam mit Hilfe von Schlüsselfragen die Systemeigenschaften und Funktionen mit der höchsten Priorität konsolidiert. Darauf aufbauend werden Annahmen zur Realisierung des Interaktionskonzepts getroffen. Basierend auf den Annahmen, die zu Anforderungen und Inhalten der Interaktionskonzeptentwicklung führen, erfolgt eine Formulierung überprüfbarer Hypothesen.

3.3 HAF & fahrfremde Tätigkeiten (NDR)

Da Nutzer die Tendenz zeigen, unterbrochene Handlungen nach erfolgter Übernahme fortzusetzen (z.B. Biedermann & Cieler, 2017), sind für ein positives Gesamterlebnis Interaktionskonzepte zu entwickeln, die in Abhängigkeit des Typus fahrfremder Tätigkeiten (Non Driving-Related, NDR) eine möglichst unterbrechungsfreie Nutzung von NDR in Phasen mit und ohne HAF erlauben.

Analysiert man die Bedürfnisse und Erwartungen von Nutzern zu präferierten NDR, zeigt sich eine breite Varianz (z.B. Pfleging et al., 2016). Neben Gesprächen mit weiteren Fahrzeuginsassen beschäftigen sich Nutzer beispielsweise damit, Musik

zu hören, mit dem Verfassen von Textnachrichten, Essen, Trinken, dem „Tagträumen“, dem Browsen im Internet und dem Telefonieren. Dementsprechend sollten künftige Studien aufzeigen, wie unter Berücksichtigung nutzerseitiger Anforderungen, Erwartungen sowie momentan zur Verfügung stehender Ressourcen eine Bereitstellung bzw. eine Anpassung unterschiedlicher fahrfremder Tätigkeiten vor, in und während des TORs erfolgen sollten.

Beispiel: Hat ein Nutzer unter HAF-Bedingungen mit dem Schreiben einer Textnachricht begonnen, so kann dem Nutzer systeminitiiert nach erfolgreich umgesetztem TOR angeboten werden, die begonnene Textnachricht mittels Spracheingabe fortzusetzen.

LITERATUR

Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation; Automatica, Vol. 19, No. 6. pp. 775-779, 1983, Printed in Great Britain. LISANNE BAINBRIDGE, 1983 International Federation of Automatic Control.

Biedermann, A.; Cieler, S. (2017). Bedeutung und Herausforderungen der Fahrerzustandserkennung im Kontext des vollautomatisierten Fahrens, 9. VDI Fachtagung „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“, Braunschweig, Germany, November 2017 .

Continental, Mobilitätsstudie (2013). <https://www.continental-corporation.com/resource/blob/12762/1ab71f91b3ae8246a404ae2562eef976/mobilitaetsstudie-2013-data.pdf>; (letzter Zugriff am 30.01.2019).

Continental, Mobilitätsstudie (2018). <https://www.continental-corporation.com/resource/blob/155636/143035a4e9f11245f39d7583c70cde9e/die-studie-data.pdf>; (letzter Zugriff am 30.01.2019).

Körber, M.; Bengler, K. (2014). Potential Individual Differences Regarding Automation. Conference: Interacción '14: Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction.

Körber, M.; Gold, C.; Gonçalves, J.; Bengler, K. (2015). Vertrauen in Automation – Messung, Auswirkung und Einflüsse. TÜV SÜD Akademie GmbH. 7. Tagung Fahrerassistenz, München.

Laugwitz, B.; Schrepp, M.; Held, T. (2006). Konstruktion eines Fragebogens zur Messung der User Experience von Softwareprodukten. In: Heinecke, A. M. und Paul, H. (Hrsg.): Mensch & Computer 2006

Meier-Arendt, G. (2018). Interaktionskonzepte für das automatisierte Fahren. In ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 04/2018; 120 (4): Oldenbourg Verlag, S. 125–134.

Petermeijer, S.; Doubek, F.; de Winter, J. (2017). Driver response times to auditory, visual, and tactile take-over requests: A simulator study with 101 participants. Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Banff, Canada, 1505-1510.

Pfleging, B.; Rang, M.; Broy, N. (2016). Investigating User Needs for Non-Driving-Related Activities During Automated Driving. MUM '16: Proceedings of the

15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. Rovaniemi, Finland.

SAE J3016:2016-09 (2016). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

KOMMUNIKATION ZWISCHEN AUTOMATISIERTEN KRAFTFAHRZEUGEN UND ANDEREN VERKEHRSTEILNEHMERN – WAS BRAUCHEN WIR ÜBERHAUPT?

Lisa Zwicker, Tibor Petzoldt, Jens Schade, Erik Schaarschmidt

ZUSAMMENFASSUNG

Das automatisierte Fahren wird den bisherigen Fahrer zukünftig von der Fahraufgabe entbinden, sodass Kommunikation, die bislang zwischen ihm (ggf. vermittelt durch das von ihm gesteuerte Fahrzeug) und anderen Verkehrsteilnehmern stattfand, nicht mehr erfolgt bzw. erfolgen kann. Soweit lautet eine häufig zu lesende Überzeugung bzgl. der Auswirkungen von automatisiertem Fahren. Beispielhaft für derartige Kommunikationsvorgänge werden etwa der Blickkontakt zwischen Fußgänger und Fahrzeugführer in uneindeutigen Querungssituationen oder das signalisieren auf einen Vorrangverzicht durch z. B. Lichthupe oder Handzeichen angeführt. Dabei ist jedoch kaum bekannt, in welchem Ausmaß derartige Kommunikationsformen in der Praxis tatsächlich eine Rolle spielen, sowohl was ihre Auftretenshäufigkeit als auch ihre tatsächliche Notwendigkeit angeht. Ganz allgemein scheint es so, dass Kommunikation zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern, so wie sie heute beobachtbar ist, bislang nur unsystematisch und bestenfalls lückenhaft aufgearbeitet ist. Dabei ist eine solche Basis zwingend erforderlich, um entsprechend auch die durch das automatisierte Fahren entstehenden Veränderungen hinreichend präzise beschreiben und mit angemessenen Maßnahmen entgegenwirken zu können. Welche Formen der Kommunikation gibt es eigentlich? In welchen Kontexten treten sie auf? Sind sie überhaupt zielführend und sollten entsprechend unbedingt aufrechterhalten werden, oder gibt es evtl. gar einen Verbesserungsbedarf, der u.U. durch ein automatisiertes Fahrzeug bedient werden kann? Ziel eines durch die Bundesanstalt für Straßenwesen finanzierten Projektes („Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern“) ist es, die bestehenden Befunde zum Ist-Stand der Kommunikation zwischen verschiedenen Teilnehmern systematisch aufzuarbeiten, sowie alle diejenigen Interaktionsszenarien zu identifizieren und zu beschreiben, für die sich die Frage nach (ggf. veränderter) Kommunikation durch ein automatisiertes Fahrzeug überhaupt stellt.

1. PROBLEMSTELLUNG

Mit einer zunehmenden Anzahl an automatisierten Fahrzeugen im Verkehrsgeschehen wird es zwangsläufig auch zu einer sukzessiv ansteigenden Anzahl an Interaktionen mit diesen Fahrzeugen kommen. Dabei handelt es sich in vielerlei Hinsicht um einen ungewohnten Interaktionspartner, dem nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmer nicht ohne Weiteres „ausgeliefert“ werden sollten. Glücklicherweise lassen sich seine Verhaltensweisen, Anzeigen und Reaktionen von Entwicklerseite gestalten. Dabei ist es zentral und unerlässlich, dass sich diese Gestaltung an bisher bewährten Kommunikationsmitteln orientiert, um das Verständnis, das Vertrauen und die Sicherheit der restlichen Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten. Bezugnehmend auf die Verkehrskonstellation, die Interaktionspartner und andere Merkmale der Situation gilt es also, den (aktuell) optimalen Ablauf einer Interaktion zu identifizieren. Darauf aufbauend kann diskutiert werden, ob automatisierte Fahrzeuge die heute

gängige Kommunikation nachbilden sollten oder ob mit der technischen Weiterentwicklung sogar neue, sicherere, eindeutige und verständlichere Wege der Kommunikation möglich sind.

Im Rahmen dieses Beitrages wird auf das Senden einer „Nachricht“ vom Fahrer eines motorisierten Fahrzeugs bzw. vom Fahrzeug selbst an einen anderen Interaktionspartner (Pkw-/Lkw-Fahrer, Fahrradfahrer oder Fußgänger) fokussiert. Dies geschieht vor dem Hintergrund der Tatsache, dass im Kontext des automatisierten Fahrens die bislang durch die vom Fahrer des Fahrzeuges (explizit oder implizit) ausgelösten Kommunikationshandlungen nun ggf. mit anderen Mitteln nachgebildet werden müssen. Die gegenläufige Richtung der Kommunikation, vom anderen Interaktionspartner zurück zum motorisierten (und bald automatisierten) Fahrzeug, wird in den Überlegungen dieses Beitrags ausgeklammert. Hier besteht die Veränderung darin, dass der Empfänger der Nachricht zukünftig nicht mehr ein Mensch, sondern eine Maschine sein wird, so dass die Frage nach eindeutiger und verständlicher Kommunikation primär eine technische (Inwieweit sind Sensorik und Algorithmen in der Lage, die vom Kommunikationspartner ausgehenden Signale zu erkennen und zu interpretieren?), und keine psychologische ist. Außerdem wird hier vereinfachend ausschließlich eine Kommunikation zwischen zwei Partnern betrachtet. Natürlich können die Einbeziehung weiterer Interaktionspartner sowie die Wechselseitigkeit der Kommunikation inklusive der Rolle von Feedback langfristig nicht ignoriert werden, dennoch empfiehlt es sich, auf diese Aspekte zum Zeitpunkt der grundlegenden Betrachtung keinen Schwerpunkt zu setzen.

2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Will man die Kommunikation, wie sie heute im Straßenverkehr erfolgt, betrachten und kommunikative Situationen hinsichtlich ihrer Einflussfaktoren und ihrer zukünftigen Gestaltung bewerten, sollte man die komplexen Zusammenhänge zunächst auf das Wesentliche reduzieren. Dazu eignet sich von den klassischen, psychologischen Kommunikationsmodellen am besten ein Encoder-Decoder- oder auch Sender-Empfänger-Modell (Röhner & Schütz, 2016). Schon in den 1940er Jahren entwickelten Shannon und Weaver (1949) ein Modell, das sich weniger auf die inhaltliche Bedeutung der Nachricht als auf die (technische) Übertragung dieser bezieht (siehe Bild 1). Am Anfang steht eine Informationsquelle bzw. Sender (information source), die eine Nachricht auswählt, welche anschließend von einem Enkodierer (transmitter) in ein Signal umgewandelt wird. Über einen Kanal gelangt dieses zum Empfänger (destination), wo es zunächst vom Dekodierer wieder entschlüsselt werden muss. Die Informationsübermittlung kann vom sogenannten Rauschen (noise) beeinflusst und gestört werden.

Das Sender-Empfänger-Modell eignet sich für die vorliegende Betrachtung vor allem, weil es den gerichteten Kommunikationsprozess einfach beschreibbar macht. Über die klare und simple Definition der Elemente des Prozesses werden einzelne Kommunikationsvorgänge bewertbar und etwaige Probleme bei der Informationsvermittlung können verortet werden. Gleichzeitig muss eingeräumt werden, dass das Modell in dieser Form natürlich eine massive Vereinfachung der zwischenmenschlichen Kommunikation darstellt und dieser nur bedingt gerecht wird. Dennoch erscheint der Rückgriff auf ein eher technisches Modell vor dem Hintergrund der Problemstellung, menschliches Kommunikationsverhalten ggf. auf ein technisches System zu übertragen, durchaus angebracht.

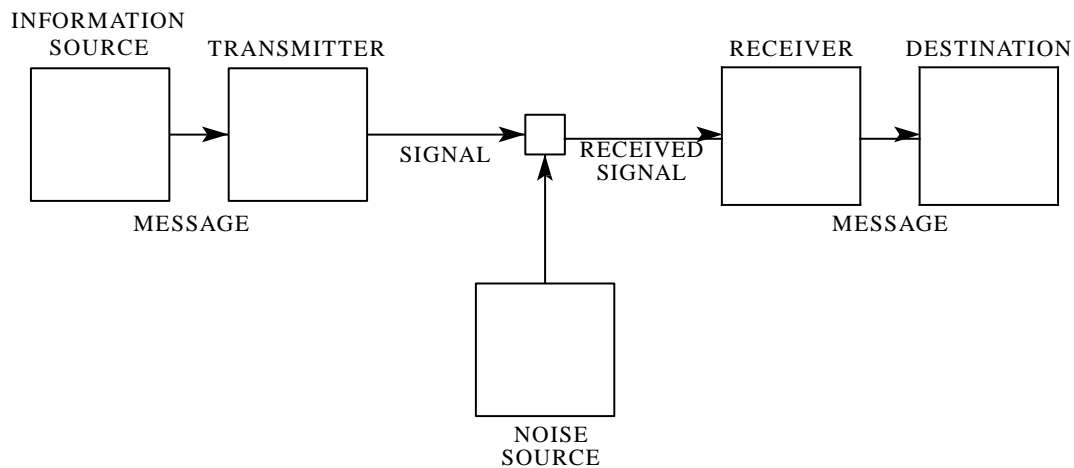


Bild 1: Kommunikationsmodell nach (Shannon & Weaver, 1949)

Bei der Betrachtung des Fahrers eines nicht-automatisierten Pkw als Quelle der Information wird deutlich, dass diesem zur Übermittlung von Nachrichten an seine Umwelt mehrere Kommunikationsmittel zur Verfügung stehen, z. B. die technischen Möglichkeiten des Fahrzeugs oder seine eigene Gestik und Mimik. Welches Signal er wählt, hängt sicherlich auch davon ab, wer den Empfänger der Nachricht darstellt. Dieser kann ein Fußgänger, ein Fahrradfahrer oder ein Führer eines motorisierten Fahrzeugs sein und dementsprechend über unterschiedliche Erwartungen an den Pkw-Fahrer und Möglichkeiten zum Empfang der Nachricht verfügen. Nach Röhner und Schütz (2016) kann die Nachrichtenübertragung vor allem an gestörten kognitiven Prozessen scheitern, wenn beispielsweise die Aufmerksamkeit der Kommunikationspartner nicht gegeben ist oder kein identisches Zeichen- und Bedeutungswissen vorliegt. Diese Überlegungen deckt das Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver ab, da es die Wichtigkeit des Umstands betont, dass beteiligte Kommunikationspartner die „gleiche Sprache sprechen“ müssen – das heißt, dass der Empfänger das Signal enkodieren können muss, welches der Sender verschlüsselt hat.

In einigen wesentlichen Aspekten greift das Modell jedoch zu kurz und muss zum Zweck der Bewertung unterschiedlicher Kommunikationsmittel erweitert werden. Einer dieser Aspekte betrifft die mögliche Kontextabhängigkeit der Bedeutung eines bestimmten Signals, denn ein und dasselbe Signal wird von einem Empfänger in unterschiedlichen Situationen unter Umständen in unterschiedliche Nachrichten dekodiert (z. B. Warnblinker bei stehendem Pkw als Hinweis auf Gefahr und Warnblinker als Ausdruck des Danks, wenn das Einscheren ermöglicht wurde). Auch die Tatsache, dass die Kommunikation nicht zwingend vom Sender intendiert sein muss, wird vom beschriebenen Modell nicht abgedeckt. So können bereits beliebige, nach außen sichtbare Verhaltensweisen eines Senders Signale darstellen, die von einem Empfänger aufgenommen und interpretiert werden, ohne dass der Sender dabei die Absicht hatte, Informationen zu übermitteln. Wie Watzlawick formuliert: „Man kann nicht *nicht* kommunizieren!“ (Watzlawick, Beavin & Jackson, 1969). Ebenso verhält es sich mit „zusätzlichen“ Informationen, die sich ein menschlicher Empfänger aus Merkmalen des Signals erschließt, die nicht unmittelbar mit dem Inhalt der Nachricht verknüpft sind (z. B. der Tonfall eines Sprechers, der zusätzlich zur eigentlichen Nachricht weitere Informationen liefert).

3. KOMMUNIKATIONSMITTEL: KATEGORISIERUNG UND KONTEXTE

Zunächst gehören natürlich die offiziellen, verkehrsspezifischen Anzeiger wie der Blinker als Richtungsanzeiger oder die Bremsleuchte als automatische Verdeutlichung einer Geschwindigkeitsverzögerung zu den im Straßenverkehr genutzten Signalen. Ebenso kann eine Botschaft an einen anderen Verkehrsteilnehmer aber auch durch inoffizielle Signale (z. B. Mimik, Blickrichtung, Aufblenden der Fernlichter, Geschwindigkeitsveränderungen) gesendet werden, die formell – das heißt nach den Vorgaben der StVO – nicht zur Kommunikation im Verkehr vorgesehen sind. Diese informellen, kommunikativen Handlungen ergeben sich eher aus den zurückliegenden Erfahrungen eines Fahrers und den vorherrschenden sozialen Normen (Portouli, Nathanael & Marmaras, 2014). So dürfen Schall- und Leuchtzeichen (Hupe und Lichthupe) rein formell beispielsweise nur bei einer akuten Gefährdung und außerhalb geschlossener Ortschaften zum Überholen eingesetzt werden (§16 StVO), während jeder Verkehrsteilnehmer schon einmal die Erfahrung gemacht haben dürfte, dass diese Zeichen informell beispielsweise innerorts zur Gewährung der Vorfahrt genutzt werden.

Auch Renge (2000) bezieht sich auf die Unterscheidung zwischen formellen und informellen Kommunikationsmitteln und differenziert darüber hinaus in technologiegestützt und gestengestützt. Den einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen stehen dabei allerdings nur bestimmte Mittel zur Verfügung; so führen Fußgänger und Radfahrer in der Regel keine technischen Geräte oder Applikationen mit sich, die als Kommunikationsmittel dienen (siehe Tabelle 1). Die Ergebnisse verschiedener Studien weisen darauf hin, dass zumeist mehrere Kommunikationsmittel gleichzeitig verwendet werden und die Empfänger wiederum informelle Signale zusätzlich zu formellen Signalen ihrer Interaktionspartner nutzen, um Erwartungen über deren Absichten zu bilden (Björklund & Åberg, 2005; Sucha, 2014).

Außerdem wird in der Forschung oftmals eine Einteilung in explizite und implizite Verhaltensweisen zur Betrachtung der Kommunikationsmittel vorgenommen (u. a. Lagström & Lundgren, 2015; Ackermann, Beggiato, Schubert & Krems, 2019). Unter expliziten Signalen versteht man dabei das bewusste und intentionale Übermitteln einer Nachricht an den Empfänger. Fuest, Sorokin, Bellem und Bengler (2018) zählen darunter optische Reize wie den Blinker oder die Lichthupe und akustische Reize wie die Hupe oder den Warnton eines elektrischen Pkw. Auch die ausdrückliche Kennzeichnung eines automatisierten Fahrzeugs als solches wäre ein explizites Signal, während das Fehlen des manuellen Fahrers implizit auf ein automatisiertes Fahrzeug hinweisen würde. Als implizite Signale bezeichnet man also solche, die vom Empfänger erschlossen und interpretiert werden, da sie die Nachricht bzw. das Anliegen des Senders nur indirekt vermitteln und zumeist auch nicht intentional gesendet wurden. Dazu lassen sich im Straßenverkehr auch die Trajektorienwahl, die Spurposition sowie das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten (Fahrtdynamik) zählen. Diese Signale dienen in der Regel nicht dem Zweck der Kommunikation, transportieren aber dennoch „beiläufig“ Informationen an andere Verkehrsteilnehmer.

<i>Kommunikationsmittel</i>	<i>Fußgänger</i>	<i>Fahrradfahrer</i>	<i>Pkw-Fahrer</i>
<i>formell technologiegestützt</i>	keine	keine	Blinker, Hupe, rückwärtiges Bremslicht, Lichthupe, Warnblinker, ...
<i>informell technologiegestützt</i>	keine	keine	Hupe, Lichthupe, Warnblinker, ...
<i>formell gestengestützt</i>	keine	Handzeichen	keine
<i>informell gestengestützt</i>	Handzeichen, deutliches Umsehen, Blickkontakt, Betreten der Fahrbahn, rasches Zugehen auf Fußgängerüberweg, ...	Handzeichen, deutliches Umsehen, Blickkontakt, Fahrdynamik, ...	Handzeichen, Blickkontakt, dichtes Auffahren, Fahrdynamik, Stehenbleiben, ...

Tabelle 1: Beispiele für Kommunikationsmittel (nach Verkehrsteilnehmern)

Vor dem Hintergrund der vermeintlichen Bedeutsamkeit von Kommunikation im Straßenverkehr müsste davon ausgegangen werden, dass eine Vielzahl von Arbeiten vorliegt, die diese Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern vor allem empirisch genauer betrachtet und auch eine Bewertung der Qualität dieser Kommunikation erlaubt. Oftmals wird der Verlust von direkter zwischenmenschlicher Interaktion („Blickkontakt“) beim automatisierten Fahrzeug beispielsweise als Begründung für die Entwicklung von entsprechenden Anzeigekonzepten herangezogen (z. B. Reschke, Rabenau, Hamm & Neumann, 2018), daher sollte man meinen, dass die Relevanz dieser direkten Interaktion hinreichend belegt ist. Nimmt man das Argument, dass der kontextabhängige Einsatz bzw. die kontextabhängige Interpretation der Lichthupe für ein automatisiertes Fahrzeug eventuell problematisch sind (z. B. Färber, 2015) und andere Lösungen dafür gefunden werden müssten (teilweise unter Missachtung der geltenden StVO, die den informellen Einsatz als „Angebot zum Einscheren“ überhaupt nicht erlaubt), so wäre zu erwarten, dass die Sinnhaftigkeit des Lichthupeneinsatzes in Bezug auf die Verkehrssicherheit oder auch den Verkehrsfluss in der Vergangenheit bereits einer empirischen Prüfung unterzogen wurde.

Tatsächlich finden sich jedoch nur wenige Arbeiten, die sich in den vergangenen Jahrzehnten explizit mit der Thematik (informeller) Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern auseinandergesetzt haben. In den 1980er Jahren entstanden einige Überblicksarbeiten, die sich mit der systematischen Klassifizierung von Kommunikationsmitteln und peripher auch mit der Frage beschäftigen, welche Kommunikationsmittel unter welchen Bedingungen am zielführendsten oder wirksamsten sind (Bauer, Risser, Teske & Vaughan, 1980; Merten, 1981; Risser, 1988). Weiterführende Untersuchungen und Berichte, die sich nicht nur auf einzelne Kommunikationsmittel in spezifischen Situationen beziehen oder die Frage der Wirksamkeit adressieren, sucht man seitdem allerdings vergeblich. Im Projekt „Grundlagen der

Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern“ wird daher der Versuch unternommen, durch eine systematische Betrachtung von möglichen Kommunikationsmitteln in spezifischen Situationen die optimalen Kommunikationsmittel herauszuarbeiten und anschließend abzuschätzen, ob diese auf ein automatisiertes Fahrzeug übertragen werden können.

Doch an welchen Kriterien müssen sich die Signale, die im Straßenverkehr täglich von den unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern gesendet und empfangen werden, messen? Im einfachsten Fall lässt sich wohl sagen: Es wurde dann das optimale Kommunikationsmittel gewählt, wenn die Kommunikation gelungen ist. Woran sich dieses Gelingen bemisst und mit welcher Methodik dies im laufenden Projekt beurteilt werden soll, wird in den nächsten Kapiteln adressiert.

4. WANN GELINGT KOMMUNIKATION?

4.1 Was sollte der Inhalt der Nachricht sein?

Vor der Betrachtung der bestmöglichen Kodierung einer Nachricht stellt sich die Frage, welchen Inhalt die übermittelte Nachricht haben sollte, um Missverständnissen und Unklarheiten im Verkehr vorzubeugen. Grob eingeteilt kann die Nachricht dem Empfänger entweder den eigenen Status („Ich habe dich gesehen.“) oder aber eine Absicht und damit den gewünschten, zukünftigen Ausgang der Situation (z. B. „Ich habe vor, dir die Vorfahrt zu gewähren.“) vermitteln.

Dabei birgt die Status-Nachricht allerdings die Gefahr, auf unterschiedliche Art und Weise interpretiert zu werden. Die von einem motorisierten Verkehrsteilnehmer gesendete Nachricht „Ich habe dich wahrgenommen.“ kann von einem Fußgänger mit Querungswunsch beispielsweise unterschiedlich aufgefasst werden. Es könnte immer noch sein, dass der Pkw-Fahrer nicht mehr rechtzeitig bremsen kann oder will, weil er sein Vorfahrtsrecht durchsetzen oder den nachfolgenden Verkehr nicht aufhalten will. Die Absichtserklärung „Ich lasse dich über die Straße gehen.“ allerdings schließt die Information, dass der Fußgänger wahrgenommen wurde, ein und vermag darüber hinaus, dem Fußgänger die nötige, subjektive Sicherheit zur Querung zu geben. Mit diesen Überlegungen übereinstimmend zeigten Portouli et al. (2014), dass die Signale anderer (nicht-automatisierter) Pkw von Probanden als Ausdruck einer Intention bzw. eines gewünschten Ausgangs einer Situation interpretiert und antizipiert werden – wobei sogar gehäuft dem (vermenschlichten) Pkw selbst eine Absicht zugeschrieben wurde.

Automatisierte Fahrzeuge sollten sich also daran orientieren und ebenfalls bevorzugt die eigene Absicht anstelle des eigenen Status mitteilen. Auch Ackermann et al. (2019) konnten dies in einer experimentellen Studie im Anschluss an Fokusgruppeninterviews zeigen: Die Probanden präferierten direkte Instruktionen an sie („Go ahead“) gegenüber Status-Mitteilungen in Bezug auf die Erkennbarkeit, die Eindeutigkeit und den Komfort der Interaktion mit dem automatisierten Pkw (vgl. auch Merat, Louw, Madigan, Wilbrink & Schieben, 2018). Des Weiteren reduzierte in einer Untersuchung von Lagström und Lundgren (2015) das Anzeigen von expliziten Aussagen wie „wird Vorfahrt gewähren“ die Unsicherheit und Gefahrenwahrnehmung der zu Fuß gehenden Probanden.

4.2 Woran lässt sich gelungene Kommunikation messen?

Zur Beantwortung der Frage, ab wann Kommunikation als gelungen bezeichnet werden kann bzw. nach welchen Kriterien diese (qualitative) Bewertung erfolgen sollte, reicht es nicht aus, allein die Auflösung einer Interaktion ohne negative Folgen wie Unfälle oder Missverständnisse zwischen den Kommunikationspartnern als Optimum zu betrachten. Natürlich ist der oberste Anspruch an eine Interaktion, dass jeder beteiligte Verkehrsteilnehmer sein subjektives Ziel erreichen konnte (Kauffmann, Winkler, Naujoks & Vollrath, 2018) – für den Fußgänger im genannten Beispiel bedeutet das etwa, erfolgreich die Straße zu überqueren, und für den Pkw-Führer wiederum, seinen Weg fortzusetzen –, darüber hinaus können jedoch noch weitere Kriterien an die Kommunikation(smittel) gestellt werden.

Den Umstand der *Verkehrssicherheit* vorausgesetzt, kann eine gelungene Kommunikation auch daran gemessen werden, wie schnell bzw. effizient sich die Situation auflöst, sodass sie den *Verkehrsfluss* möglichst wenig behindert. Will der Pkw-Fahrer dem Fußgänger signalisieren, dass er ihn die Straße überqueren lassen wird, kann er dies wie bereits erwähnt auf explizite Weise durch eine Handgeste anzeigen. Um diese zweifelsfrei zu erkennen, müssen aber günstige Voraussetzungen vorliegen – im Sinne des theoretischen Modells also geringes Rauschen, das die Signalübertragung stören könnte. Idealerweise sollte beispielsweise Tageslicht herrschen, es sollten keine Sichtbehinderungen vorliegen und zudem sollte zwischen Fußgänger und Pkw nur eine geringe Distanz bestehen. Letzteres hat natürlich unmittelbaren Einfluss auf den Verkehrsfluss, wobei sich die Frage stellt, ob sich die Absicht des Pkw-Führers (bzw. perspektivisch des automatisierten Fahrzeugs), nicht schneller und dabei ebenso sicher über andere, beispielsweise implizite Signale wie die Fahrzeugdynamik (hier das Bremsverhalten), erkennen ließe.

Darüber hinaus spielt das *Verkehrsklima* eine Rolle, da affektive Prozesse die menschliche Wahrnehmung, Entscheidungsfindung und Verhaltenssteuerung beeinflussen. Ein klassisches Beispiel ist das Drängeln auf der Autobahn, das häufig über dichtes Auffahren oder Lichtzeichen wie die Lichthupe oder das Links-Blinken vermittelt wird. Aber auch für Kommunikationsmittel, die eine „zuvorkommende“ Absicht eines Verkehrsteilnehmers signalisieren sollen, gibt es bei den Empfängern Präferenzen, die sich am Wohlbefinden im Umgang mit diesen Kommunikationsmitteln bemessen. Ackermann et al. (2019) ließen Fußgänger beispielsweise den Komfort im Umgang mit verschiedenen Technologien bei einer Querungssituation bewerten und konnten so zeigen, dass die Interaktion mit Displays auf (automatisierten) Pkw von den Probanden als angenehmer beurteilt wurde als die Interaktion mit Projektionen.

Wie bereits erwähnt haben situationale Bedingungen (z. B. Wetterlage, Sichtbedingungen, Abstand der Kommunikationspartner) einen hohen Anteil daran, ob ein gewähltes Kommunikationsmittel die gesendete Nachricht übertragen kann oder nicht, was sich in der *Erkennbarkeit* äußert. Diese ist für technologiegestützte Kommunikationsmittel in der Regel als höher einzuschätzen, da Leucht- und Schallanlagen bei schlechten Sichtverhältnissen, bei Niederschlag und schon aus größerer Entfernung leichter erkennbar sind als beispielsweise körperliche Gesten des Kfz-Führers.

Außerdem sollte das Signal möglichst *eindeutig* und *verständlich* vermitteln, was der Sender dem Empfänger mitteilen möchte. Für die Fahrzeugdynamik als implizites Kommunikationsmittel gilt beispielsweise, dass eine Verlangsamung des Pkw bedeutet, dass der Fahrzeugführer abbremst – das Signal ist also verständlich –,

aber er könnte dies aus verschiedenen Gründen tun, z. B. um den Fußgänger die Straße queren zu lassen, abzubiegen oder einzuparken.

Besondere Rücksicht sollte im Straßenverkehr auch auf Verkehrsteilnehmergruppen genommen werden, deren (optische oder akustische) Wahrnehmung, Bewegung oder Konzentrationsfähigkeit eingeschränkt ist. Zu dieser Gruppe zählen vor allem Menschen mit motorischen Behinderungen und Beeinträchtigungen der Seh- und Hörfähigkeit, Ältere und Kinder. Eine Abschätzung der *Eignung eines Kommunikationsmittels für Menschen mit Einschränkungen* ist besonders schwierig und nur vorsichtig möglich, da z. B. die wischende Handgeste im Querungsbeispiel für Fußgänger im Kindesalter durch ihre Explizität und Verständlichkeit sehr gut geeignet ist, von Personen mit Sehbehinderung aber unter Umständen nicht wahrgenommen werden kann.

Als Kriterien zur qualitativen Beurteilung der Eignung eines Kommunikationsmittels in einer bestimmten Verkehrssituation werden demnach sieben Bewertungskategorien festgehalten: Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss, Verkehrsklima, Erkennbarkeit, Eindeutigkeit, Verständlichkeit und Eignung für Menschen mit Einschränkungen.

5. SZENARIENBLATT ZUR IDENTIFIKATION DES OPTIMALEN KOMMUNIKATIONSMITTELS IN EINER DEFINIERTEN SITUATION

Im Rahmen des Projektes „Grundlagen der Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern“ wurde ein Szenarienblatt (siehe Bild 2) entwickelt, mit Hilfe dessen für möglichst viele Verkehrskonstellationen abgeschätzt werden soll, welche(s) Signal(e) in der entsprechenden Situation und zu den entsprechenden Randbedingungen nach den oben festgelegten Kriterien zur Kommunikation geeignet sind/ist.

Für diese Betrachtung werden zu jedem Szenario zunächst die kontextualen Charakteristika festgehalten (z. B. Ortslage, Kommunikationspartner), die teilweise aus der von Fuest et al. (2018) entwickelten Taxonomie für Interaktionen zwischen automatisierten Fahrzeugen und menschlichen Verkehrsteilnehmern abgeleitet wurden. Diese Taxonomie enthält Attribute mit zugehörigen möglichen Ausprägungen, z. B. Kommunikationspartner (Pkw-Fahrer, Radfahrer, Fußgänger), longitudinale Distanz (< 3 m, 3 bis 10 m, > 10 m) oder Vorfahrtsregelung (automatisiertes Fahrzeug hat Vorfahrt, nicht-automatisierter Verkehrsteilnehmer hat Vorfahrt, ungeregelt). Der Geschwindigkeit und der Distanz zwischen den beiden Kommunikationspartnern kommt bei der Wahl des Kommunikationsmittels eine entscheidende Rolle zu (Fuest et al., 2018), weshalb diese Parameter in das Szenarienblatt aufgenommen wurden. Beispielsweise würde ein Autofahrer zum Ausdruck der Nachricht „Ich lasse dich einscheren.“ auf der Autobahn, also bei hohen Geschwindigkeiten und einem großen Abstand, wohl eher die Lichthupe als die Handgeste wählen, welche wiederum im stockenden, dichten Verkehr oder innerstädtisch das geeignetere Signal zur Übertragung der gleichen Botschaft darstellt.

Das Szenarienblatt bietet weiterhin eine verbale und skizzenhafte Beschreibung der Verkehrssituation und eine kurze Einschätzung der Bedeutung, beispielsweise im Hinblick auf Konfliktpotenziale. Anschließend werden für das beschriebene Szenario gängige Kommunikationsmittel des Senders aufgelistet und an Hand von sieben Kriterien qualitativ eingeschätzt. Abschließend findet sich auf dem Szenarienblatt eine verbale Einschätzung der Eignung der betrachteten Kommunikationsmittel und

im Ausblick die Bewertung, welches Signal sich auf den Mischverkehr übertragen ließe.

FE 82.0701/2017 – Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern			
3. Kommunikationsmittel (des Senders)			
Blinker links/rechts	formell	Handzeichen	informell
Verlangsamung (Fahr-dynamik)		Lichtthupe	informell
gesteigert	technologiestützt	gesteigert	technologiestützt
implizit	explizit	explizit	implizit
4. Qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel			
Verkehrssicherheit	keine Auswirkung	problematisch, wenn FG sich darauf verlässt und andere, bevorrechtigte Pkw übersieht	problematisch, wenn FG sich darauf verlässt und andere, bevorrechtigte Pkw übersieht
Verkehrsfluss	keine Auswirkung	erfordert Blickkontakt und geringe Distanz	schon aus weiterer Distanz sichtbar
Verkehrsklima	keine Auswirkung	in der Regel als freundlich und „auf Augenhöhe“ wahrgenommen	in der Regel als freundlich wahrgenommen
Erkennbarkeit	gut zu allen Tageszeiten und Wetterlagen	nur bei Tageslicht und günstigem Blickwinkel	gut zu allen Tageszeiten und Wetterlagen, seitlich vom Pkw aber nicht mehr sichtbar
Eindeutigkeit	eindeutig in Bezug auf Abbiegeabsicht	eindeutig in Bezug auf Vorrang	uneindeutig, Bremsen nur wegen Abbiegens möglich
Verständlichkeit	verständlich	verständlich	zweideutig („Achtung, ich fahre“)
Eignung für Menschen mit Einschränkungen	keine Auswirkung	verständlich für Kinder und Ältere, schlecht sichtbar für sehbehinderte Menschen	gut für Menschen mit Sehbehinderung, da auch akustische Information vermittelt wird
5. Eignung der Kommunikationsmittel			
Der Blinker ebenso wie die Verlangsamung des Fahrzeugs stellen verständliche, für alle Verkehrsteilnehmer bekannte Kommunikationsmittel dar und sind in den meisten Fällen der betrachteten Verkehrskonstellation als Zeichen an den Kommunikationspartner ausreichend. Nur bei besonderen Ereignissen (Fußgänger verzichtet auf Vorrang, Fußgänger scheint unsicher) sollte über die Fahrdynamik und den Einsatz des Blinkers hinaus explizit kommuniziert werden. Je nach Licht- und Sichtverhältnissen und Abstand der beiden Kommunikationspartner zueinander eignet sich dafür das Handzeichen oder die Lichtthupe am ehesten.			
6. Übertragbarkeit auf Mischverkehr			
Übertragbarkeit	übertragbar	ersetzt: Schriftzug, Lichtleisen, Projektionen, ...	übertragbar

FE 82.0701/2017 – Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern			
Szenarienblatt 01			
Interaktion mit bevorrechtigtem Fußgänger an einem rechts-vor-links- Knotenpunkt			
Ortslage:	<input checked="" type="checkbox"/> innerorts <input type="checkbox"/> außerorts <input type="checkbox"/> Bundesautobahn	Straßencharakteristik:	<input type="checkbox"/> freie Strecke <input type="checkbox"/> Ein-/Ausfahrtbereich <input type="checkbox"/> Knotenpunkt mit LSA <input type="checkbox"/> Knotenpunkt ohne LSA <input checked="" type="checkbox"/> r-v-l-Knotenpunkt <input type="checkbox"/> Kreisverkehr <input type="checkbox"/> Parkplatz
Kommunikationspartner (KP) bzw. Empfänger:	<input type="checkbox"/> Pkw/Lkw <input type="checkbox"/> Krad/Moped <input type="checkbox"/> Fahrrad <input checked="" type="checkbox"/> Fußgänger	Vorfahrt:	<input type="checkbox"/> Sender (Pkw) <input checked="" type="checkbox"/> Empfänger (KP) <input type="checkbox"/> ungeregelt
Geschwindigkeit KP:	<input checked="" type="checkbox"/> 0 km/h <input checked="" type="checkbox"/> 4,4 km/h <input type="checkbox"/> 17,5 km/h <input type="checkbox"/> 30 km/h <input type="checkbox"/> 50 km/h <input type="checkbox"/> 100 km/h <input type="checkbox"/> 130 km/h	Geschwindigkeit Pkw:	<input checked="" type="checkbox"/> 0 km/h <input type="checkbox"/> 30 km/h <input type="checkbox"/> 50 km/h <input type="checkbox"/> 100 km/h <input type="checkbox"/> 130 km/h
1. Beschreibung des Szenarios mit Skizzen			
Verkehrssituation und Verhaltensmuster: Das Egofahrzeug nähert sich einer gleichrangigen Kreuzung (rechts vor links) und hat die Absicht, abzubiegen. Längs zur aktuellen Fahrtrichtung steht oder geht ein Fußgänger, der die Straße überqueren möchte und damit vor dem Egofahrzeug Vorrang hat. Der Pkw sendet die Nachricht aus, dem Fußgänger diesen Vorrang auch zu gewähren und dieser quert daraufhin die Fahrbahn. Anschließend kann das Fahrzeug seinen Weg fortsetzen. Alternativer Ablauf: Der Fußgänger macht deutlich, dass er auf seinen Vorrang verzichtet, und lässt das Egofahrzeug zuerst abbiegen, bevor er die Straße überquert.			
2. Bedeutung des Szenarios			
Es handelt sich um eine Verkehrssituation, die klar durch die StVO geregelt ist - zusätzlich zum Blinker sind also zunächst keine weiteren Kommunikationsmittel von Nöten. Dennoch kann der Fußgänger in dieser Situation unsicher sein, ob er vom Pkw-Führer wahrgenommen wurde und beachtet werden wird. Dies kann eine intensive Interaktion nötig machen, um die Sicherheit und den Verkehrsfluss zu gewährleisten und negative Folgen wie Verärgerung zu vermeiden. Der zugehörige Unfalltyp wäre ein Abbiege-Unfall (AB; 221-224 und 241-244; GDV, 1998).			
¹ Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (1998). Unfalltypen-Katalog - Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps. Berlin.			

Bild 2: Szenarienblatt

Der Aufbau bzw. die einzelne Elemente des Szenarienblatts orientieren sich dabei teilweise an den „Interaction Strategies“ für verschiedene Szenarien aus dem groß angelegten „InterACT“-Projekt der Europäischen Union (Wilbrink et al., 2018). Diesem Projekt und der Taxonomie von Fuest et al. (2018) ist allerdings gemein, dass sie sich schon direkt auf automatisierte Fahrzeuge als Sender von Informationen

beziehen. Das vorliegende Szenarienblatt dient hingegen der Beurteilung heute gängiger Interaktionen und fokussiert daher teilweise auf andere Aspekte. Es ist weniger als konkrete Handanweisung zur Modellierung von Software und technischen Systemen oder zur Strukturierung von Studienansätzen in der Forschung gedacht, viel mehr soll es eine theoretische Basis darüber liefern, wie wir aktuell im Straßenverkehr kommunizieren und zukünftig kommunizieren sollten.

Weiterführend ist im vorliegenden Projekt eine Analyse neuer, kooperierender Kommunikationskonzepte automatisierter Fahrzeuge für diejenigen Situationen geplant, in denen heutige Kommunikationsmittel nur bedingt oder gar nicht auf den Mischverkehr übertragbar sind. Perspektivisch sind außerdem Telefoninterviews und ein Workshop mit relevanten Interessengruppen und Experten vorgesehen, um ergänzende Hinweise und Einschätzungen hinsichtlich der Eignung und Übertragbarkeit der betrachteten Kommunikationsmittel zu erhalten und die Ergebnisse des Projektes somit auf eine breitere Basis zu stellen.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

Diesem Artikel liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE-Nr. 82.0701/2017 durchgeführten Forschungsarbeit zugrunde.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Ackermann, C., Beggiano, M., Schubert, S., Krems, J. F. (2019). An experimental study to investigate design and assessment criteria: What is important for communication between pedestrians and automated vehicles? *Applied Ergonomics*, 75, 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.11.002>

Bauer, T., Risser, R. Teske, W. & Vaughan, C. (1980). Kommunikation im Straßenverkehr - Untersuchung über die Kommunikationsgewohnheiten und Kommunikationsbedürfnisse der Verkehrsteilnehmer. Endbericht für das Teilprojekt I (Kuratorium für Verkehrssicherheit, Verkehrspsychologisches Institut, Hrsg.). Wien.

Björklund, G. M., Åberg, L. (2005). Driver behaviour in intersections: Formal and informal traffic rules. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8 (3), 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.006>

Färber, B. (2015). Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (Bd. 17, S. 127–146). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Fuest, T., Sorokin, L., Bellem, H., Bengler, K. (2018). Taxonomy of Traffic Situations for the Interaction between Automated Vehicles and Human Road Users. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Advances in Human Aspects of Transportation (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 597, S. 708–719)*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_68

Kauffmann, N., Winkler, F., Naujoks, F., Vollrath, M. (2018). "What Makes a Co-operative Driver?" Identifying parameters of implicit and explicit forms of communication in a lane change scenario. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 1031–1042. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.019>

Lagström, T., Lundgren, V. M. (2015). AVIP - Autonomous vehicles interaction with pedestrians. Masterarbeit. Chalmers University of Technology, Gothenborg, Sweden.

Merat, N., Louw, T., Madigan, R., Wilbrink, M., Schieben, A. (2018). What externally presented information do VRUs require when interacting with fully Automated Road Transport Systems in shared space? *Accident; Analysis and Prevention*, 118, 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.018>

Merten, K. (1981). Informelle Zeichengebung im Straßenverkehr (Bundesanstalt für Straßenwesen, Hrsg.). Köln.

Portouli, E., Nathanael, D., Marmaras, N. (2014). Drivers' communicative interactions: on-road observations and modelling for integration in future automation systems. *Ergonomics*, 57 (12), 1795–1805. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.952349>

Renge, K. (2000). Effect of driving experience on drivers' decoding process of roadway interpersonal communication. *Ergonomics*, 43 (1), 27–39. <https://doi.org/10.1080/001401300184648>

Reschke, J., Rabenau, P., Hamm, M., Neumann, C. (2018). Symbolische Fahrzeug-Fußgänger-Kommunikation. In VDI-Berichte Nr. 2323 (S. 95–106).

Risser, R. (1988). Kommunikation und Kultur des Straßenverkehrs (1. Aufl.). Wien: Literas-Verlag.

Röhner, J., Schütz, A. (2016). Psychologie der Kommunikation. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-10024-7>

Shannon, C. E., Weaver, W. (1949). The Mathematical Theory of Communication. Urbana Champaign: University of Illinois Press.

Sucha, M. (2014). Road Users' Strategies and Communication: Driver-Pedestrian Interaction. In *Proceedings of Transport Research Arena (TRA) 2014*.

Watzlawick, P., Beavin, J. H., Jackson, D. D. (1969). Menschliche Kommunikation. Wien: Huber.

Wilbrink, M., Schieben, A., Kaup, M., Willrodt, J.-H., Weber, F., Lee, Y. M. (2018). InterACT D.4.1. Preliminary interaction strategies for the interACT Automated Vehicles.

MENSCH UND FAHRZEUG IN UNTERSCHIEDLICHEN AUTOMATISIERUNGSSTUFEN

Miklós Kiss, Daniel Lepczyk

ZUSAMMENFASSUNG

Die Mobilität der Zukunft wird höher automatisierten Individualverkehr einschließen. Im Gegensatz zum bisherigen Öffentlichen Personennahverkehr ÖPNV werden Nutzer alleine mit diesen Fahrzeugen oder Services interagieren und müssen damit als Teil des Mensch-Maschine Gesamtsystems verstanden werden.

Der zeitliche Vorlauf bis zu den höchsten Automatisierungsstufen in der Breite der Gesellschaft ist noch beträchtlich, sodass gesellschaftliche Veränderungen sowie sich wandelnde Erwartungen an Technik und Verhalten in Betracht gezogen werden müssen.

Anhand sogenannter User-Stories gilt es die Mensch-Maschine Interaktion zu erforschen und Schlüsse für sichere Bediensysteme über das gesamte Nutzungsspektrum zu ziehen.

Neben dem Nutzer des Mobilitätsservice selbst kommen neue technische Interaktionspartner ins Spiel, die bisher durch den Fahrer als Person abgedeckt werden. Ab dem Level-3 der Automatisierung muss das Fahrzeug die Kommunikation zu den übrigen Verkehrsteilnehmern bzw. zur Infrastruktur übernehmen. Der Fahrer oder Passagier tritt in der Fahrsimulation zusehends in den Hintergrund. Passanten oder die Servicekräfte rücken mehr ins Zentrum.

DER SCHWIERIGE AUSBLICK

Der Blick in die Zukunft ist stets unsicher und schwer. Behauptete Mercedes in einem Bericht des HR der 70er Jahre, dass ACC binnen 5 Jahren in Serienautos zu finden wäre, lagen sie fast 20 Jahre zu früh in ihrer Schätzung (https://www.youtube.com/watch?v=GjsqRSPs_s8). Auch heute werden die Level des automatisierten Fahrens von Visionären in großem Tempo durchschritten und es wird der Eindruck erzeugt, dass jede Generation von Fahrzeugen einen Level in der Kaskade der Automatisierung nach oben springt. Oft wird dabei Funktionsumfang vor Kunde und der Level der Automatisierung vermischt, der sinnvoll dazu passen muss.

Ein automatisches System auf z.B. der Autobahn liefert ab Level 1 einen messbaren Komfortgewinn und gesteigerte Sicherheit. Jeder höhere Level erweitert dies, wenn der Funktionsumfang dabei nicht sinkt. Schon für Level 2 auf der Autobahn gilt, dass der Spurassistent genauso gut verfügbar sein muss, wie das ACC, weil sonst die Kundenzufriedenheit sinkt. Wir erlebten daher getrennt schaltbare Systeme, bevor in der aktuellen Generation die Aktivierung für Längs- und Querassistenten gleichzeitig geschieht.

Blickt man in ein Parkhaus, ist das erste System, dass den Kunden einen echten Nutzen bringt ein Level-4 System, denn nur dann gewinnt man Zeit und kann das Fahrzeug an der Schranke abgeben, von wo aus es selbständig den Parkvorgang übernimmt. Bei langsamer Geschwindigkeit ist der Komplexitätssprung von Level-3 auf Level-4 eher klein, denn wenn die Fahraufgabe erst ab ca. 5 sec. übernommen werden kann, ist das Fahrzeug längst durch Anhalten in einem wieder sicheren Zustand. So werden wahrscheinlich auch in der Stadt Level-4 Systeme eher interessant als Level-3 Systeme, die ähnliche Anforderungen an den sicheren Funktionsumfang stellen.

Mit diesen spekulativen Versuchen soll auf die Schwierigkeit der Prognose hingewiesen werden, die durch weitere Veränderungen in Verkehr und Kultur überlagert wird. Im Gegensatz zum selbst Fahren geht es an dieser Stelle nicht mehr um psychophysische Variablen, die innerhalb einer gegebenen Streuung über die Menschen vergleichbar sind, sondern um technische und kulturelle Randbedingungen, die schwer zu antizipieren sind. Dabei stellen sich eine Reihe von Fragen: z.B. Wie ist die Rolle von Fußgängern und Radfahrern in 20 Jahren? Welche alternativen Fahrzeuge werden genutzt bzw. zugelassen werden (Rollschuh, Elektroroller, Hover Boards,...)?

VERANTWORTUNG IN UNTERSCHIEDLICHEN AUTOMATISIERUNGSSSTUFEN

Die Level der Automatisierung beschreiben vor allem die Verantwortung der Fahrer/innen.

Bis zum Level 2 wird davon ausgegangen, dass der Fahrer jederzeit die volle Verantwortung übernehmen kann.

Bei Level-3 muss sich die verantwortliche Person stets zur Verfügung halten, wird aber i.d.R. komfortable Übergaben erleben. Bei der Inbetriebnahme des Fahrzeugs gehen wir noch von einer klassischen Verantwortungslage aus. D.h. auch das Einschalten von automatisierten Systemen und die erste Kontrolle, ob die Übergabe an das Fahrzeug funktioniert hat, liegt in der Aufgabe des Fahrers.

Ab Level-4 wird es deutlich komplexer. Schon beim eigenen Fahrzeug kann man nicht mehr selbst beurteilen, ob die Kontaktaufnahme mit der Infrastruktur funktioniert hat. Lediglich kann geprüft werden, ob Fehlermeldungen aus dem Fahrzeug kommen.

Wenn das eigene Fahrzeug nicht vollständig kontrolliert werden kann, ist es bei Flottenfahrzeugen gar nicht mehr möglich, dass die Nutzer eine technische Beurteilung vornehmen können. Von hier an wird die Verantwortung eher im System bzw. beim Betreiber des Systems liegen.

Aus diesem Grund fokussiert die Ethikkommission besonders auf Level 4 und 5, was die ethische Rolle der automatisierten Systeme und deren Betreuung betrifft.

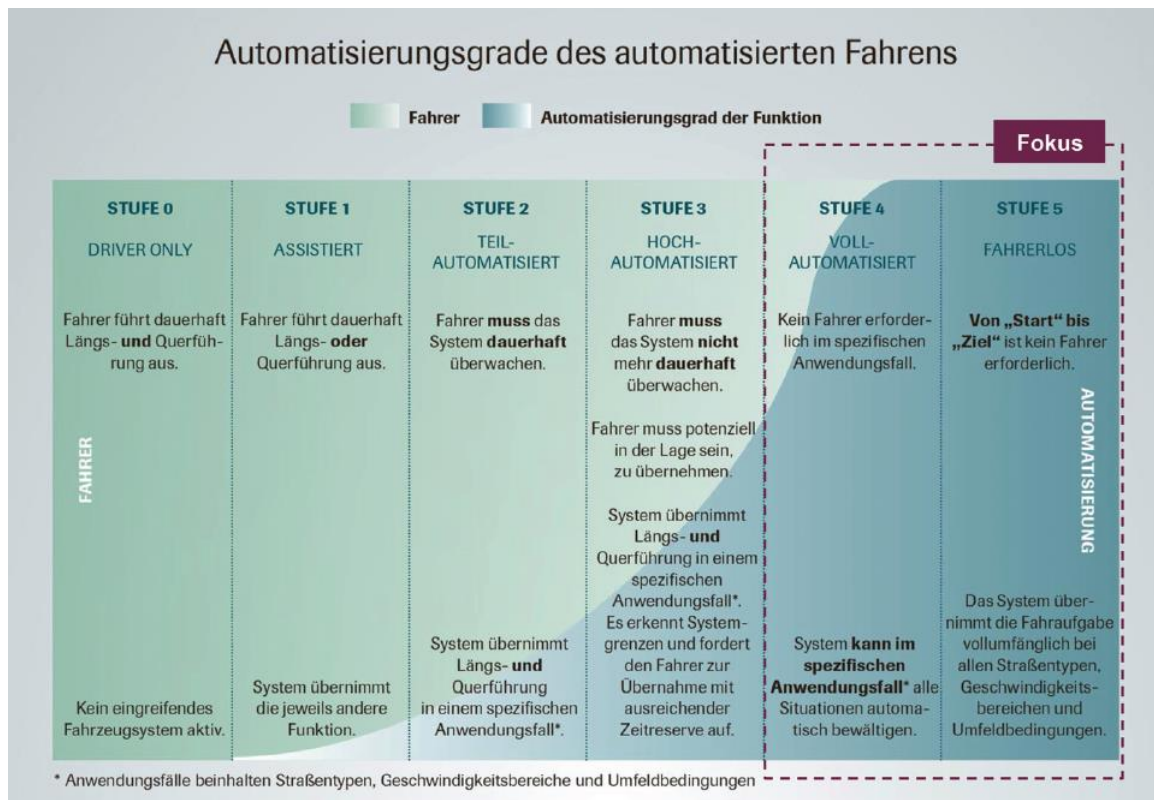


Bild1: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2017/084-dobrindt-bericht-der-ethik-kommission.html>

DIE FAHRAUFGABE

Die Fahraufgabe tritt Level für Level aus Sicht des Fahrers weiter in den Hintergrund. Ab Level-3 fällt die Fahr- bzw. Regelungsaufgabe größtenteils weg. Es muss "nur" komfortabel eingesprungen werden, wenn das System an seine Grenzen gekommen ist. Weite Teile der Fahrt werden durch das System erledigt, wodurch die generelle Fahrkompetenz nicht rapide zurückgehen wird, weil die Fahrer noch regelmäßig selbst fahren und damit die gesamte Kette der Fahraufgabe trainieren.

Ab zuverlässigen Level-4 Systemen ist es nicht mehr nötig bestimmte Fahrtasks selbst auszuführen. Es ist stark davon auszugehen, dass bestimmte Kompetenzen sich rasch verschlechtern. Analogien zu Flugverkehr zeigen, dass z. B. die Landung, so sie häufig vom Autopiloten durchgeführt wird, als Kompetenz bei den Piloten abnimmt.

Die Fahrvorbereitung

Heute sollte man vor jeder Fahrt einen Fahrzeugrundgang machen, der Reifendruck, Lichtanlage und sonstige Beschädigungen vor der Fahrt identifiziert.

Die Eigendiagnose der Fahrzeuge verschont Fahrer immer mehr von den Fehlern der jeweiligen Unterlassung. Spätestens jedoch nach Fahrtantritt ist der Fahrer verantwortlich Fehler des Fahrzeuges zu erkennen. Assistenzsysteme führen vor Aktivierung einen Selbsttest durch, der im Allgemeinen sicherstellt, dass sich das System nur aktivieren lässt, wenn alle technischen Teilsysteme funktionsfähig sind sowie die Randbedingungen außerhalb des Fahrzeug einen Betrieb zulassen (beispielsweise Sensorsicht).

Bei Flottenfahrzeugen ab Level-4 ist nicht davon auszugehen, dass Passagiere außergewöhnliches Verhalten erkennen können. Nur sehr laute Geräusche oder Vibrationen können sie verunsichern. Die mangelnde Erfahrung mit diesem einen Vehikel lässt eine sinnvolle Diagnose nicht zu, was bedeutet, dass sich diese Fahrzeuge komplett selbst überprüfen müssen, bzw. vom Betreiber ein ausreichendes Servicekonzept verfolgt werden muss.

Der Fahrzeughalter

Die Fahrzeughalter müssen wie heute sicherstellen, dass Wartung und Service in ausreichendem Maße durchgeführt werden.

Aus rechtlicher Sicht ist das keine Änderung. Gesellschaftlich ist jedoch zu erwarten, dass mehr Fahrzeuge in Betreibermodellen genutzt werden und sich dadurch die Fahrzeughalter von Einzelpersonen zu professionellen Betreibern ändern könnten.

SCHNITTSTELLEN ZUM EIGENEN FAHRZEUG BZW. ZUR MOBILITÄT UND ZU WEITEREN FAHRZEUGEN

Wie die Fahraufgabe selbst werden sich auch die Schnittstellen zum Fahrzeug ändern. Bis Level-3 bleibt vieles mit heutigen Systemen vergleichbar. Nebenaufgaben sind möglichst nahtlos in das Bediensystem des Basisfahrzeugs zu integrieren, so dass die Fahrzeugbedienung als Metapher für die Zeit der Fahrt dominant bleibt. Eine Übernahme kann möglichst lückenlos stattfinden.

SIMULATION FÜR DIE UNTERSCHIEDLICHEN LEVEL DES AUTOMATISCHEN FAHRENS

Aus der Frage nach den Schnittstellen, ergeben sich gleich die relevanten Simulationswerkzeuge, die im Folgenden anhand der Automatisierungslevel erörtert werden.

Level 1 DAS/ADAS

Der Fahrsimulator als Werkzeug für die Mensch Maschine Interaktion in der Automatisierung hatte seine steilste Entwicklung in den 90er und frühen 2000er Jahren, als der Sprung von Level 1 DAS auf Level 1 ADAS bevorstand. Bei all diesen Systemen hat der Fahrer die volle Verantwortung für alles, was das Fahrzeug tut und es muss sichergestellt werden, dass er diese Kontrolle auch ausüben kann.

Wissenschaftlich galt es herauszufinden, wie man die Fahrqualität in einem Simulator quantifizieren kann und wie man reliable Ergebnisse sicherstellt. Die Themenstellungen reichten von Fahrtauglichkeit, Fahrtraining, Ablenkung, HMI Systembewertungen bis zu Kontrollierbarkeit von Fahrerassistenzsystemen.

Die Fahraufgabe steht dabei immer im Mittelpunkt und die großen Herausforderungen für die Simulation scheinen die realistische Graphik, eine realistische Fahrdynamik, realistischer und intelligenter Fremdverkehr und eine geringe Motion Sickness zu sein.

Für HMI Untersuchungen ist überdies ein modularer Fahrzeuginnenraum eine besondere Herausforderung, die sehr unterschiedlich adressiert wird. Von der modularen Sitzkiste über verschiedene Mock Ups für Voruntersuchungen bis zu Komplettfahrzeugen, die in die Simulationskancel eingebracht werden, sind alle Lösungen vertreten.

Level 2 DAS/ADAS

Mit Assistenzsystemen ab Level 2 kommen Fragestellungen zu Themen des Komforts hinzu. Die Regelung von Längs- und Querdynamik muss für eine Vielzahl von Situationen mit Passagieren erprobt werden. Da die Fahrerinnen weiter die Verantwortung behalten, ist es Ziel die Funktionen so abzustimmen, dass sie komfortabel sind, die Passagiere im besten Fall den Unterschied zu einem guten Fahrer nicht merken. Die Person, die die Fahrverantwortung übernimmt, sollte aber unverzüglich über notwendige Eingriffe als Fahrer informiert werden.

An dieser Stelle wird die erste Realisation im Fahrzeug, die ausreichend sicher ist, dass sie auf der Straße mit Versuchspersonen erprobt werden kann sehr aufwendig. Daher werden realistischere Simulatoren gefordert, mit denen erste Ausprägungen der Systeme getestet werden können. Vibro-akustische Simulationen und Fahrwerkssimulationen werden gekoppelt und der Aufwand für eine subjektiv realistische Abstimmung steigt enorm.

Die inhaltlich größte Aufgabe besteht darin, die Fahrer ausreichend in den Fahrtask zu involvieren, da Eingriffe zur Sicherheit nur mit der entsprechenden Aufmerksamkeit und dem nötigen „Stress“ realistisch ausgeführt werden.

Es entstehen Tools wie das Wizard of Oz Fahrzeug bei VW oder das Vehicle in the Loop bei Audi, die durch realistische Fahrdynamik und Einbindung in eine echte Welt eine realistische Fahrhandlung sicherstellen sollen.

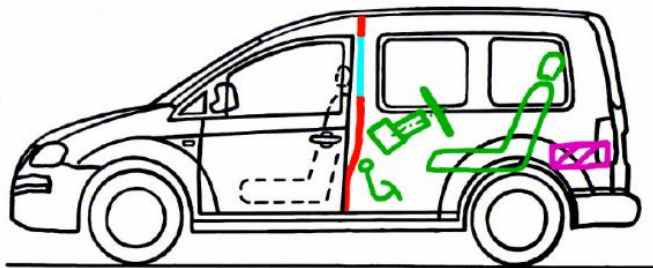


Bild 2: Schmidt et al. (2008); Karl et al. (2013)

Die Haupteckenpunkte aus diesen Simulationen sind, dass auch im realen Verkehrsgeschehen sehr schnell Vertrauen zu automatisierten Systemen aufgebaut wird und gleichzeitig bei dynamischen Eingriffen durch die Systeme der Fahrer als Störgröße auftreten kann. Der Traum ein engineering Tool mit der Simulation zu bauen wird von Systementwicklern noch nicht geteilt.

Level 3 teilautomatisch

Bei Systemen in Level 3 liegt die Verantwortung bei aktivem System nicht mehr beim Fahrer. Die Übergabe zurück an den Fahrer kann nicht mehr sofort mit der Erwartung, dass es die "Schrecksekunde" braucht, erfolgen, wie sie mit dem Begriff Kontrollierbarkeit in Response 3 für die Übernahme-situation adressiert wird.

Forschungsarbeiten kommen auf Mittelwerte von ca. 5 Sekunden für die Übernahme der Fahraufgabe und beziehen das auf teilautomatische Systeme für die Autobahn.

Die Streubreite indiziert Übergabezeiten von 8,5 sec. für Level 3 Autobahnsysteme, was zur Folge hat, dass diese teilautomatisierten Systeme in allen möglichen Szenarien, die innerhalb dieser Zeit geschehen, einen sicheren Zustand aufrechterhalten oder herstellen müssen.

An dieser Stelle verändert sich auch die Rolle der Simulation. Für die Fahrer wird es einfacher, weil immer Zeit für eine geordnete Übernahme zur Verfügung steht. Für Entwicklungsingenieure wird die Simulation ein wichtigeres Instrument, mit dem die Menge an Szenarien aus der "echten" Welt stark verdichtet werden kann.

Der Begriff Szenarien bildet sich als relevanter Fachbegriff heraus, mit den Beschreibungen auf sehr abstrakter Ebene (Lauer) bis hin zu sehr detaillierter Ebene gemacht werden können. Diese Logik hilft im gesamten Entwicklungsprozess und teilt die Rolle der Simulation entlang des V-Modells.

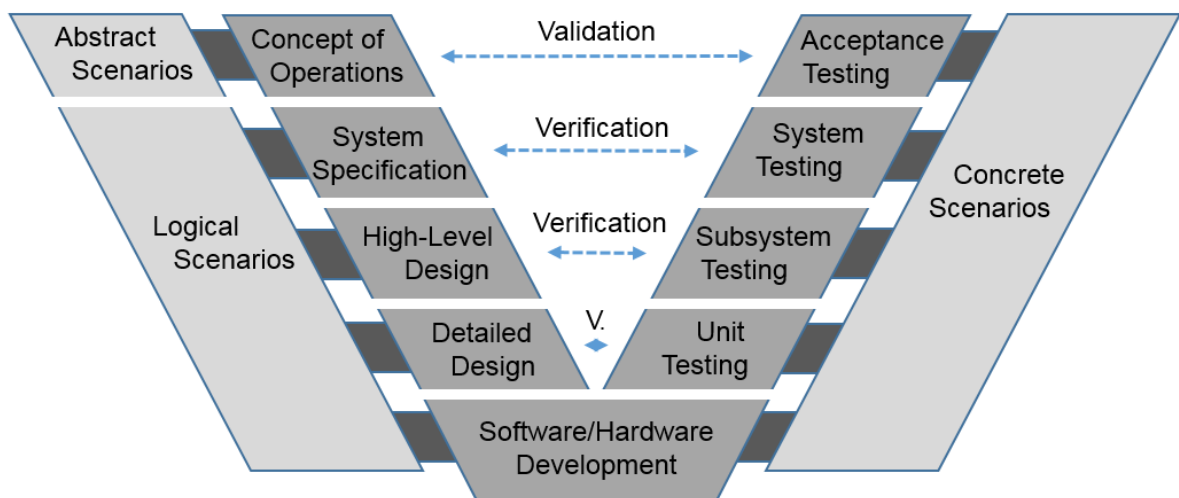


Bild 3: Bock et al. (2018)

Die Simulation dient jetzt als Entwicklungswerkzeug von der Wahrnehmung über die Regelung bis zur Kommunikation der Funktionen und wird vor allem in der Absicherung eingesetzt. Die Visualisierung, die eine große Dominanz in der Fahrsimulation hatte, tritt in den Hintergrund.

Im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion wird weiter mit den klassischen Simulationsansätzen gearbeitet, die aus L2 bekannt sind.

Level 4 vollautomatisch/Level 5 autonom

Bei vollautomatischen Systemen ist der Mensch komplett in bestimmten Fahrsituationen komplett entbunden und ggf. gar nicht mehr im Wagen.

Als Beispiel sei hier der Parkhauspilot benannt, bei dem von Anfang an stark auf Simulation in der Funktionsentwicklung gesetzt wurde.

Da die Funktion in der Ausprägung von Audi auf detaillierten Karten fußt, war schnell eine solide Basis des Umgebungsbildes als ground truth vorhanden, sodass die Systeme virtuell getestet werden konnten, noch bevor sie zum ersten Mal in ein Auto integriert wurden.

Die eigentliche Fahrsimulation käme jetzt ohne Visualisierung aus, da niemand mehr das System monitort oder eingreifen muss. Die Visualisierung hat eine andere Rolle bekommen und dient den Entwicklern als Übersicht für die Funktionsbeobachtung. Sie enthält damit vor allem Ansichten der Wahrnehmung über verschiedene Sensorsichten und die Sensordatenfusion. Weiter enthält sie Informationen zur Verhaltensplanung um die Zusammenarbeit der Wahrnehmung und der resultierenden Planung aufzuzeigen und eine Fehlersuche auf Rohdatenniveau zu erleichtern.

Die Kundensicht erfordert eine Simulation der Systemintegration, die mit der Fahrsimulation, wie sie aus den niedrigeren Leveln bekannt ist, nicht mehr viel zu tun hat. Hier geht es um die Bedienung des Systems an sich und um die Informationsbedarfe der Nutzer, um den Systemen zu vertrauen. In vielen Systemen findet diese Bedien- bzw. Beobachtungshandlung außerhalb des Autos statt. Im Moment spielen das Smart Phone oder der Fahrzeugschlüssel eine zentrale Rolle. Auch zusätzlichen Services und die Art wie selbige vor Kunde eingebunden werden rücken zunehmend in den Fokus der Entwicklung. Systemvertrauen ist ein wichtiger enabler für höhere Automatisierung.

Komfort für Passagiere ist ein wichtiges Differenzierungsmerkmal für teil- und voll-automatisierte Systeme. Die Passagiere sind jetzt nicht mehr in die Fahraufgabe eingebunden und können sich so Nebentätigkeiten widmen. Abgesehen von anfänglicher Neugier, wollen sie auf Dauer vor allem nicht gestört werden. Es gilt also die Simulation bezogen auf Komfort neu zu erfinden und auf unterschiedlichste Innenraumformen, Sitz- und Schlafpositionen auszuweiten. Die Art zu sitzen, die Art der passiven Sicherheitssysteme wie Airbags und Rückhaltegurte muss neu gedacht und neu auf Passagiere angepasst werden.

Unterschiedliche Use Cases können völlig unterschiedliche Lösungen zur Folge haben. Stadtverkehr mit Fahrzeugflotten wird auf Praktikabilität, schnellen Ein- und Ausstieg und Gepäck optimiert sein. Shared-Longstreckenmobilität kann auf Büro, Transport oder Reise optimiert sein. Die Konzepte der Zukunft werden uns hier viele Fragestellungen aufgeben.

Das große Ziel sollte es sein, die unterschiedlichen Formen der Simulation an einen gemeinsamen Kern zu bauen, damit es die gleiche Kundenfunktion ist, die aus den unterschiedlichen Blickwinkeln gesehen und getestet wird. Von der Simulation für Mensch-Maschine Untersuchungen bis zum SIL und HIL Test, sollten alle Simulationen modular auf eine gemeinsame Basis zugreifen können um stets aktuell zu bleiben.

Für alle beteiligten Personen ist das eine große Chance sich klar über Systemausprägungen zu unterhalten und mögliche Missverständnisse zu minimieren.

WELCHE GRUNDLEGENDEN FRAGESTELLUNGEN WERDEN KOMMEN?

Die Schnittstelle vor Kunde für eine Erforschung der Mensch-Maschine-Interaktion wird sich am stärksten ändern.

Ziel muss es sein mit Versuchspersonen in eine Virtuelle Welt der Zukunft einzutauchen und Devices der Zukunft, sowie gesellschaftliche Veränderungen mit einzubeziehen.

Müssen wir also zu Science-Fiction Autoren für die höhere Automatisierung werden? Das werden wir müssen und die Rolle von Experimentalpsychologen geht weg von einer Simulation einer Realität im Jetzt zu z. B. "wie bekomme ich eine bestimmte Kritikalität in die Simulation?".

Vielmehr muss die Imagination des morgen geschaffen werden - wohl wissend, dass wir Jahre der Anpassung an neue Realitäten nicht werden überspringen können.

WELCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN WERDEN WIR BRAUCHEN?

Viele Forschungsfragen machen unterschiedliche Erlebniswelten nötig. Von der klassischen Fahrsimulation, die in den Hintergrund treten wird über Virtual Engineering Tables, auf denen Funktionen interaktiv erschlossen und erlebt werden können bis zu Virutellen Welten, in denen Versuchspersonen in eine vollständig gestaltete Zukunft reisen können, werden die Systeme reichen.

Ziel muss es sein zu einem sehr frühen Zeitpunkt relevante Feedbackschleifen zu Systemen zu bekommen und die richtigen Ausprägungen aufwendig in echte Fahrzeuge zu integrieren und zu erproben.

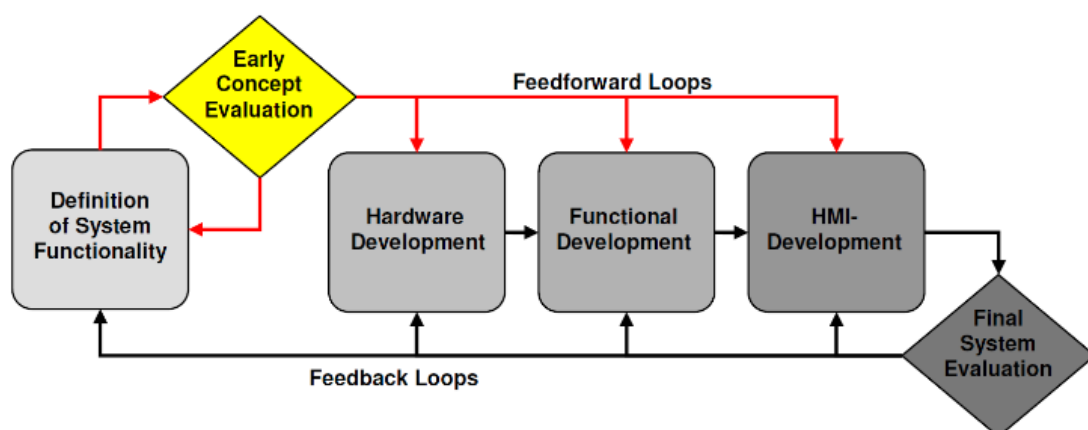


Bild 4: Schmidt et al. (2008)

LITERATUR

Awad, E., Dsouza, S., Kim, R.; Schulz, J., Henrich, J., Shariff, A., Bonnefon, J-F., Rahwan, I. (2018). The Moral Machine experiment, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0637-6>, published 24.10.2018

Bock, F., Sippl, Chr., Heinz, A., Lauer, Chr., Germann, R. (2019). Advategeous Usage of Textual Domain-Specific aguages for Senario-Driven Development of Autoated Driving Functionsk, Proceedings Sys-con 2019

Karl I., Berg G., Rüger F., Färber B. (2013). Simulator Sickness while driving the vehicle in the loop. Validation for Longitudinal driving behavior, IEEE IntEIIgEnt transportation systEms magazInE• 42• spring 2013

Rendon-Velez, E. et al. (2016). The effects of time pressure on driver performance and physiological activity: A driving simulator study, Transportation Research Part F 41 S. 150–169

Schmidt, G., Kiss, M., Babbel, E., Galla, A. (2008). The Wizard on Wheels: Rapid Prototyping and User Testing of Future Driver Assistance Using Wizard of Oz Technique in a Vehicle. Proceedings of the FISITA 2008

Schomerus, J., Flemisch, F. O., Kelsch, J., Schieben, A., Schmuntzsch, U. (2006). Erwartungsbasierte Gestaltung mit Theatersystem- / Wizard-of-Oz-Technik am Beispielleines haptischen Assistenzsystems. In AAET 2006, Braunschweig: GZVB

Sippl, C.; Bock, F.; Huber, B.; Djanatljev, A., German, R. (2019). "Identfying relevant traffic situations based on human decision making," 2019, unpublished, accepted for publication

Winner, H., Hakuli, S. (2006). CONDUCT-BY-WIRE - FOLLOWING A NEW PARADIGM FOR DRIVING INTO THE FUTURE; 2006 "leaves the decision sovereignty to the user"

Wittmann M., Kiss M., Gugg P., Steffen A., Fink M., Pöppel E., Kamiya H. (2006). Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving, Applied Ergonomics 37, 2006

NEUE ANSÄTZE DER HUMAN FACTORS FORSCHUNG IM ZEITALTER DES HOCHAUTOMATISIERTEN FAHRENS

Philip Joisten, Andreas Müller, Jonas Walter, Bettina Abendroth, Ralph Bruder

ZUSAMMENFASSUNG

Automatisiertes Fahren hat das Potential den Straßenverkehr tiefgreifend zu verändern. Die Vision des fahrerlosen Fahrens impliziert, dass die primäre Aufgabe der Fahrzeugführung nicht mehr dauerhaft vom Fahrennden übernommen werden muss. Mit zunehmendem Automationsgrad vollzieht sich der Wandel des Fahrzeugführenden hin zum Fahrzeugnutzenden. Neben den Tätigkeiten, die die Fahrzeugführung und -funktion betreffen, können fahrfremde Tätigkeiten gleichberechtigt vom Fahrzeugnutzenden ausgeführt werden. Gleichzeitig steht nicht mehr allein das Mikrosystem Fahrende-Fahrzeug im Fokus des Interesses. Neben den Fahrzeuginsassen treten weitere Stakeholder aus unterschiedlichen Bereichen, wie beispielsweise außenstehende Verkehrsteilnehmende, und die zunehmende Vernetzung des Automobils in den Vordergrund, so dass das Makrosystem Fahrzeugnutzende-Fahrzeug-Umgebung bei den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten immer wichtiger wird. Als Folge daraus wird die bisherige Eindeutigkeit der Mensch-Maschine-Interaktion durch ein multiples Mensch-Maschine-Miteinander abgelöst.

Der Beitrag zeigt geänderte Rahmenbedingungen auf, die aus der fortschreitenden Automatisierung des Fahrzeugs resultieren und formuliert wichtige Fragen, die aus diesen folgen. Anhand ausgewählter Beispiele werden Hinweise auf die Versuchsmethodik gegeben, die sich zur Erforschung der aufgezeigten Forschungslücken anbieten.

1. MOTIVATION

Automatisiertes Fahren hat das Potential den Straßenverkehr tiefgreifend zu verändern. Die Arbeitsaufgabe von Fahrzeugführenden, die zu den vorwiegend informatischen Tätigkeiten bzw. sensumotorischen Tätigkeiten zählt (vgl. Abendroth & Bruder, 2015), wandelt sich mit zunehmendem Automationsgrad von der Steuerung zur Überwachung des Fahrzeugs. Dieser Wandel resultiert aus der Übernahme von Anforderungen an die Fahrzeugführenden im System Fahrende-Fahrzeug-Umgebung durch eine automatisierte Fahrfunktion. Zukünftig können und sollen Wahrnehmungsprozesse, die Beurteilungsleistung, Entscheidungsprozesse und die Fahrzeugbedienung als solches nicht mehr von Fahrzeugführenden selbst, sondern von einem automatisierten Fahrzeug ausgeführt werden. Die Fahrzeugnutzenden können sich fahrfremden Tätigkeiten zuwenden und werden so zu Mitfahrenden im Automobil. Die Grenzen von primären, sekundären und tertiären Tätigkeitsbereichen der Fahrzeugführung (vgl. Bubb, 2002) verschwimmen. Neben den Tätigkeiten, die die Fahrzeugfunktion als solches betreffen, können weitere Aufgaben bzw. fahrfremde Tätigkeiten gleichberechtigt von Fahrzeugnutzenden ausgeführt werden. Diese geänderte Rahmenbedingung wirft Fragen auf: Welche fahrfremden Tätigkeiten können gleichberechtigt im Aufgabenmix von primären, sekundären und

tertiären Aufgaben der Fahrzeugführung, unter der Tatsache, dass die primären und sekundären Fahrzeugführungsaufgaben nicht mehr kontinuierlich auftreten, ausgeführt werden? Welche Leistungen und Beanspruchungen resultieren aus dem neuen Aufgabenmix?

Gleichzeitig erweitert sich mit fortschreitender Fahrzeugautomatisierung das System Mensch-Fahrzeug-Umgebung um weitere Stakeholder. Neben anderen Verkehrsteilnehmenden, die mit automatisierten Fahrzeugen interagieren, resultiert dies auch aus der zunehmenden Vernetzung des Automobils. So vollzieht sich ein Wandel von einer eindeutigen Mensch-Maschine-Interaktion zu einem multiplen Mensch-Maschine Miteinander. Wie kann Eindeutigkeit hergestellt und diese transparent kommuniziert werden? Wie kann die Einfachheit der Nutzung sichergestellt werden? Diese Fragestellungen resultieren aus den geänderten Rahmenbedingungen des multiplen Mensch-Maschine Miteinanders.

In Bild 1 ist ein Arbeitssystem Mensch-Fahrzeug abgebildet, das aus den geänderten Rahmenbedingungen resultiert. Die Tätigkeitsbereiche der Fahrzeugführung und der fahrfremden Tätigkeiten stehen in einer gleichberechtigten Beziehung mit dem Menschen im automatisierten Fahrzeug. Die Fahrzeugführung kann den primären und sekundären Tätigkeitsbereich nach Bubb (2002) zugeordnet werden. Die fahrfremden Tätigkeiten werden unter den Aufgabenbereich der tertiären Aufgaben gefasst. Der Mensch bzw. das automatisierte Fahrzeug interagieren mit anderen, außenstehenden Verkehrsteilnehmenden, die in der Umgebung des vernetzten Fahrzeugs Datenempfangende sein können.

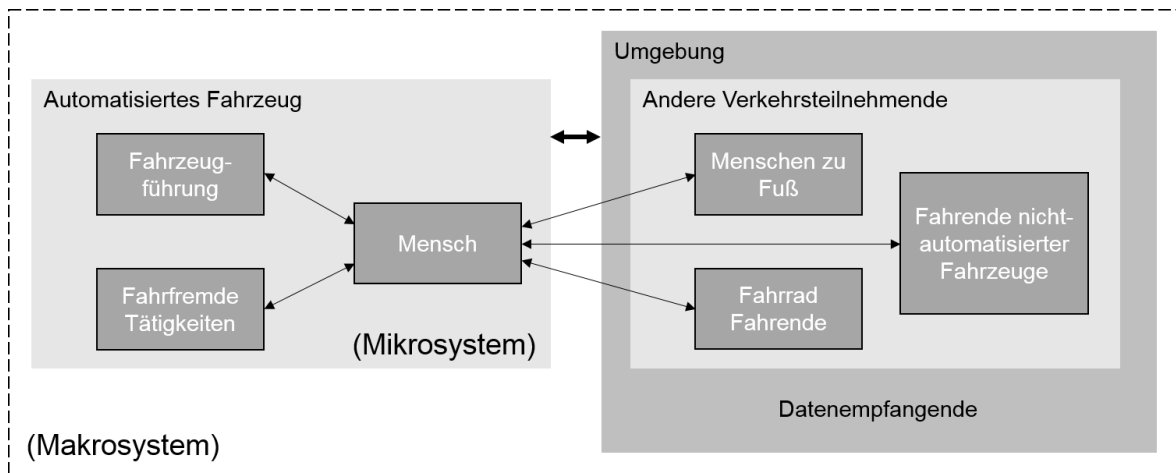


Bild 1: Arbeitssystem Mensch-Fahrzeug im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens

Automatisierte Fahrzeuge werden, angelehnt an eine evolutionäre Logik, nach ihren technologischen Fähigkeiten und dem Grad der Einbindung des Menschen klassifiziert (SAE International, 2018). Die Klassifikation reicht von der manuellen Fahrt (Level 0), bis zur vollautomatisierten Fahrt (Level 5), bei der der Eingriff des Menschen zur Bewältigung der Fahraufgabe nicht mehr nötig ist. Ab Automationslevel 3 wird die Überwachung der Fahrzeugumgebung von der automatisierten Fahrfunktion übernommen. Den Fahrzeugnutzenden verbleibt eine Schlüsselkomponente in der Mensch-Automation-Interaktion, weil ein Eingriff des Menschen in Situationen, die von der automatisierten Fahrfunktion nicht unterstützt werden, bis Level 4 erwartet wird (Kyriakidis et al., 2018).

Mit der sich wandelnden Rolle des Menschen bei der Interaktion mit dem Fahrzeug verändern sich auch die Anforderungen an den menschenzentrierten Methodenbaukasten. Die Autoren dieses Beitrags sind der Überzeugung, dass im Zuge der Automation und Vernetzung des Fahrzeugs die Rolle des Menschen für die Systemauslegung Fahrzeug nicht nivelliert, sondern vielmehr verschoben und sogar erweitert wird.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Kapitel 2 behandelt den Wandel von primären, sekundären und tertiären Aufgaben hin zu einem gleichberechtigten Aufgabenmix. Im Vordergrund steht dabei die Fragestellung, wie fahrfremde Tätigkeiten von Fahrzeugnutzenden bei hochautomatisierter Fahrt bewertet werden können. In Kapitel 3 wird das multiple Mensch-Maschine Miteinander anhand der Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden und des Aspekts der Akzeptanz von vernetzten Fahrzeugdiensten beleuchtet. Die Wizard-of-Oz Methode und Akzeptanzmodellierung bilden den Schwerpunkt der vorgestellten Untersuchungsmethodik. In Kapitel 4 wird die Veränderung der Relevanz der ausgewählten Themengebiete der Human Factors Forschung in Abhängigkeit des Automatisierungslevels und der Vernetzung diskutiert.

2. VON PRIMÄREN-SEKUNDÄREN-TERTIÄREN AUFGABEN ZUM GLEICHBERECHTIGTEN AUFGABENMIX

Nach Bubb (2002) können bei der klassischen manuellen Fahrzeugführung die ausgeführten Handlungen des Fahrzeugführenden in verschiedene Tätigkeitsbereiche eingeteilt werden - die primären, sekundären und tertiären Aufgaben. In der bisherigen Betrachtung waren oftmals die primären Handlungen, d.h. die Fahrzeugführung als solches, das Hauptuntersuchungsziel. Im Zuge der zunehmenden Fahrzeugautomation wandelt sich diese klassische Betrachtungsweise. Tertiäre Aufgaben, welche in keiner Verbindung mit der eigentlichen Fahrt stehen, steigen zum gleichberechtigten Aufgabenmix bei zukünftigen Mobilitätskonzepten auf.

Durch den Wandel der klassischen manuellen Fahrt hin zur automatisierten Fahrt, bei welcher der Fahrende in gewissen Situationen die Fahrzeugführung und Systemüberwachung an das automatisierte Fahrsystem (ab SAE Level 3) übergeben kann, ergibt sich für den Fahrenden frei verfügbare Zeit. In dieser neu gewonnenen Zeit kann der Fahrzeugnutzende sich mit fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen. Bei hochautomatisierter Fahrt (Level 3) kann es jedoch dazu kommen, dass der Nutzende die Fahraufgabe nach entsprechender Aufforderung des Fahrsystems wieder übernehmen muss. Die Inanspruchnahme der menschlichen Ressourcen durch unterschiedliche fahrfremde Tätigkeiten sind daher wichtige Determinanten für die Verkehrssicherheit bei einer hochautomatisierten Fahrt. Die technische Entwicklung schreitet fortgehend voran und erste Automatisierungssysteme sind in gewissen Fahrsituationen bereits verfügbar. Dennoch wird es auch in der näheren Zukunft immer wieder Situationen geben, in denen solche Systeme an ihre Grenzen stoßen und nicht zuverlässig arbeiten können. In diesen Fällen muss der Fahrzeugnutzende die Kontrolle über das Fahrzeug zurück übernehmen. Dadurch ergeben sich neue Herausforderungen in der Forschung, wie beispielsweise die Fragen, welche fahrfremden Tätigkeiten sich während hochautomatisierter Fahrt eignen und welche Tätigkeiten trotz Automatisierung vermieden werden sollten. Hierbei ist der Zusammenhang zwischen der von fahrfremden Tätigkeiten verursachten Belastung und die auf den Menschen individuell wirkende Beanspruchung in kritischen Situationen

relevant. Im arbeitswissenschaftlichen Kontext wurde in den letzten Jahren intensiv an der Thematik geforscht. So wurden fahrfremde Tätigkeiten beispielsweise im Zusammenhang mit der Übernahmezeit untersucht (vgl. Gold, Damböck, Lorenz & Bengler, 2013). Den Autoren ist keine Quelle bekannt, bei dem die Beanspruchung auf den Fahrenden bei verschiedenen fahrfremden Tätigkeit untersucht wurde. Eine Modellbetrachtung zur Beschreibung des Kontextes ist in Bild 2 dargestellt.

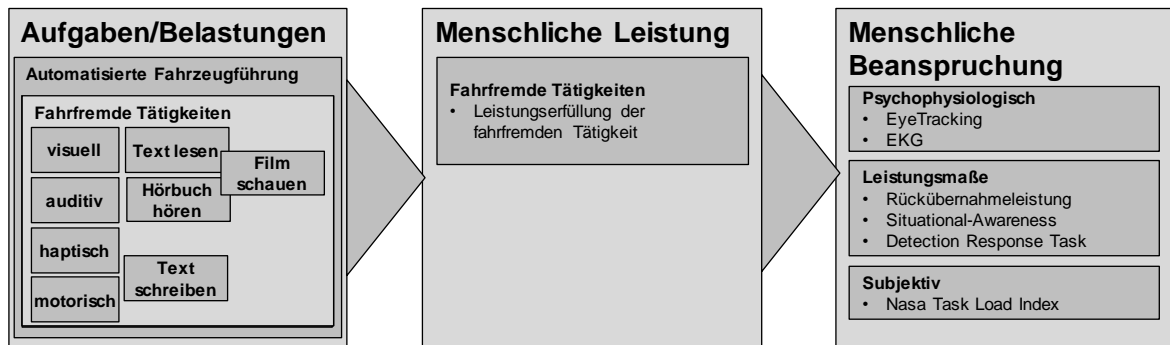


Bild 2: Modellbeschreibung zur Bewertung von fahrfremden Tätigkeiten bei automatisierter Fahrzeugführung in Anlehnung an das Belastungs-Beanspruchungskonzept nach Luczak (1975), modifiziert von Rohmert (1983)

Im Zuge der Definition von Beanspruchung ist eine Differenzierung zum Begriff der Belastung notwendig. Die Belastung (engl. Task Load) beschreibt die objektiven Anforderungen durch die Aufgabe oder die Umgebung, die extern auf den Menschen einwirken, siehe Bild 2 links. Die Beanspruchung (engl. Work Load) kann von dem Menschen selbst nicht beeinflusst werden. Es existiert eine Vielzahl an Belastungsfaktoren (bspw. Lärm, Beleuchtung, Klima), die durch das Arbeitssystem und die konkrete Arbeitsaufgabe (bspw. Anzahl und Komplexität von Informationen, Darstellungsart, Bedienelemente) auf den Menschen einwirken, siehe Bild 2 rechts. Die Beanspruchung beschreibt die individuellen Auswirkungen der durch den Aufgabenmix hervorgerufenen Belastungsfaktoren auf den Menschen. Dabei hängt die subjektiv empfundene Beanspruchung von vielen individuell verschiedenen Faktoren (bspw. Konstitution, Erfahrungen, Strategie, Qualifikation, Motivation) ab (De-Waard 1996).

Die Bewertung der gesamten Beanspruchung einer Person bei der Ausführung einer Tätigkeit setzt sich aus mentalen, emotionalen und physischen Beanspruchungselementen zusammen. Nach Ribback (2003) wird die emotionale Beanspruchung im Gegensatz zur mentalen Beanspruchung von ausführungsspezifischen Faktoren wie Zeitdruck, Lärm oder sozialen Konflikten in Kombination mit Gefühlen wie Angst hervorgerufen. Mentale Beanspruchungen sind kognitive Reaktionen des menschlichen Informationsverarbeitungssystems auf äußere Belastungen, welche durch die automatisierte Fahrt und fahrfremde Tätigkeiten aufgabenspezifisch bestimmt werden. Unter der physischen Beanspruchung werden alle Tätigkeiten zusammengefasst, die mit körperlicher Beanspruchung zusammenhängen. Zur Erfassung der Beanspruchung werden von Schlick et al. (2018) drei Messansätze empfohlen: (1) „psychophysiologische“, (2) „leistungsbezogene“ und (3) „subjektive“ Maße.

Die *psychophysiologischen Maße* beschreiben dabei die Beziehung zwischen psychologischen Vorgängen und deren zugrunde liegenden körperlichen Funktionen

(Sanders 1983). Diese Reaktionen des Körpers, wie beispielsweise Herzschlagratenveränderungen, werden autonom und damit unterbewusst aktiviert. Die mentale Beanspruchung kann mit physiologischen Messinstrumenten aufgezeichnet und anschließend bewertet werden. Die Messungen können kontinuierlich und parallel zur Aufgabenausführung gemessen werden, ohne dass die Person ihre Tätigkeit unterbrechen muss. Die Schwierigkeit in der Interpretation der Herzfrequenz und von ihr abgeleitete Größen ist, dass sie nicht nur durch mentale oder körperliche Anstrengung beeinflusst wird, sondern auch durch emotionale Faktoren (Hering 1999).

Durch *Leistungsmaße* können Tätigkeiten, wie in diesem Fall das automatisiert gefahren werden in Kombination mit fahrfremden Tätigkeiten, hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Beanspruchung des Fahrzeugnutzenden quantifiziert werden. Da man die Leistung von natürlichen fahrfremden Tätigkeiten, wie das Film ansehen oder das Hören einer Radioreportage, nicht präzise differenzierend messen kann, wird daher eine Sekundäraufgabe eingeführt, die nach dem „Subsidiary Task“ Paradigma Rückschlüsse auf die Beanspruchung einer Hauptaufgabe ermöglicht. Die Beurteilungsgrößen einer Sekundäraufgabe, wie unter anderem die Fehlerhäufigkeit oder die Reaktionszeiten, sollten kontinuierlich messbar sein. Ein Anstieg dieser Messwerte spricht für eine höhere Beanspruchung der Hauptaufgabe.

Das *subjektive Maß* basiert auf der Annahme, dass die Befragten ihre mentale Beanspruchung am besten selbst bewerten können (Schwalm 2009). Die Beanspruchungsmessung kann mittels Fragebogen erfolgen, mit dem die subjektiv erlebte Beanspruchung abgefragt wird. Problematisch ist jedoch die Notwendigkeit für die Messung, den Aufgabenablauf unterbrechen zu müssen.

Am statischen Fahrsimulator des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt werden zur Zeit Untersuchungen zu den Auswirkungen der Ausführung fahrfremder Tätigkeiten auf die Beanspruchung bei hochautomatisierter Fahrt durchgeführt. Zur Messung der psychophysiologischen Maße wird ein Elektrokardiogramm (Herzschlagrate und Herzschlagratenvariabilität) verwendet. Für die leistungsbasierten Daten (Reaktionszeiten einer Zweitaufgabe) wird ein Detection Response Task (DRT) nach ISO Norm 17488 eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen simplen Reaktionszeittest, welcher neben der Hauptaufgabe (in diesem Fall das automatisiert gefahren werden bei gleichzeitiger Ausführung einer fahrfremden Tätigkeit) durchgeführt wird. Hierbei müssen Teilnehmende auf einen zeitlich willkürlich auftretenden Reiz mittels Taster manuell reagieren. Für das subjektive Maß zur Bewertung der mentalen Belastung wird der NASA-TLX Fragebogen von Hart und Staveland (1988) verwendet.

In einer Pilotstudie wurde der trianguläre Ansatz zur Beanspruchungsmessung von verschiedenen fahrfremden Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt durchgeführt. Bei der Auswahl der Tätigkeiten handelt es sich einerseits um eine rein visuelle Tätigkeit (Text lesen), eine auditive Tätigkeit (Radioreportage hören), eine Kombination aus visuellen und auditiven Reizen in Form eines Videobeitrags und einer Tätigkeit mit hohem kognitiven und motorischen Anteil in Form des Textings auf einem Tablet.

Gemäß der Literatur wird erwartet, dass sich die Herzfrequenz bei steigender Aufgabenbelastung erhöht. Es zeigte sich, dass sich das Texting in Form eines Diktats besonders beanspruchend auswirkt. Eine zum Referenzwert sinkende Herzschlagratenvariabilität entspricht einer steigenden mentalen Beanspruchung. Die größte negative Veränderung der Messwerte konnte ebenfalls beim Texting festgestellt

wurde. Bei den leistungsbezogenen Messdaten gilt die Annahme, dass je höher die Beanspruchung einer Hauptaufgabe, in diesem Fall die Ausführung einer fahrfremden Tätigkeit, ist, desto länger sind die Reaktionszeiten bei der konkurrierenden Zweitaufgabe (DRT). Auch hierbei kann die größte Veränderung bei der Aufgabe „Texting“ beobachtet werden. Der NASA-TLX-Kennwert steigt annahmegemäß mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit. Auch hier zeigt sich ein deutlicher Anstieg des Kennwerts bei der Tätigkeit „Texting“. Die anderen Tätigkeiten unterschieden sich von der Bewertung nicht stark voneinander.

Detaillierte Ergebnisse aus einer Pilotstudie können in Müller (2019) nachgeschlagen werden.

3. VON DER EINDEUTIGEN MENSCH-MACHINE INTERAKTION ZUM MULTIPLEN MENSCH-MASCHINE MITEINANDER

Durch eine zunehmende Vernetzung des Automobils und Kooperation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden wandeln sich eindeutige Mensch-Maschine Beziehungen hin zu einem multiplen Mensch-Maschine Miteinander. Dieser Wandel geht mit einem veränderten Rollenverständnis der Akteure einher.

In diesem Kapitel wird das Multiple Mensch-Maschine Miteinander anhand der ausgewählten Beispiele der Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden und der Akzeptanzmodellierung von vernetzten Fahrzeugdiensten untersucht.

3.1 Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden – Ein Wizard-of-Oz Experiment

Mit zunehmenden Automatisierungslevel rücken weitere Stakeholder der Fahrzeugautomation in den Fokus der Forschung und Entwicklung. Weil sich die Fahrzeugnutzenden ab Automatisierungslevel 3 (nach SAE International, 2018) fahrfremden Tätigkeiten zuwenden dürfen und nur noch in bestimmten Situationen die Aktionen des Fahrzeugs selbst initiieren, muss das automatisierte Fahrzeug in der Lage sein, mit anderen Verkehrsteilnehmenden zu kommunizieren. Die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden, die bei Automatisierungslevel 0 bis 2 alleine vom Fahrenden übernommen wird, muss ab Automatisierungslevel 3 in bestimmten Situationen auch vom automatisierten Fahrzeug ausgeführt werden, um eine sichere und effiziente Fahrt zu gewähren. Vor allem im urbanen Verkehrsraum, den eine Vielzahl verschiedener Verkehrsteilnehmenden ausmacht, ist die Kommunikation zwischen ebendiesen Verkehrsteilnehmenden von hoher Relevanz.

Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden trägt im heutigen Straßenverkehr dazu bei, mögliche Konflikte zu lösen und den Verkehrsfluss aufrecht zu halten (Stanciu et al., 2018). Verkehrsteilnehmende nutzen fortlaufend nonverbale Formen der Kommunikation, im Speziellen implizite und explizite Signale, um sich im Straßenverkehr zu verständigen. Implizite Kommunikation beschreibt im Straßenverkehr die Kommunikation über das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden, beispielsweise durch die Wahl von Trajektorien oder Geschwindigkeitsprofilen. Im Gegensatz dazu kommunizieren Verkehrsteilnehmende explizit durch die Verwendung von

direkten Signalen, wie beispielsweise Handgesten oder der Verwendung des Fahrtrichtungsanzeigers (Dey & Terken, 2016). Vor der Überquerung von Fußgängerüberwegen suchen zu Fuß Gehende beispielsweise oftmals den Augenkontakt zu Fahrenden von herannahenden Fahrzeugen (Sucha, Dostal & Risser, 2017). Diese reduzieren daraufhin ihre Geschwindigkeit, um den zu Fuß Gehenden zu signalisieren, dass eine sichere Überquerung des Fußgängerüberwegs vor dem Fahrzeug möglich ist. Ein weiteres typisches Beispiel der Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden sind sogenannte „Deadlock“-Situationen, die u.a. beim Aufeinandertreffen von mehreren Verkehrsteilnehmenden bei Kreuzungen mit einer Rechts-vor-Links Regelung entstehen können. Weil es eine formelle Regelung zur Auflösung einer solchen Situation nicht gibt, sind Verkehrsteilnehmende gezwungen die Vorfahrt, beispielsweise durch Handgesten, zu verhandeln (vgl. Imbsweiler Ruesch, Weinreuter, Puente León & Deml, 2018).

Diese Beispiele geben erste Einblicke in mögliche Kommunikationsepisoden, die zukünftig auch von automatisierten Fahrzeugen sicher und effizient ausgeführt werden müssen. Im Zuge der Automatisierung entstehen zusätzliche Anwendungsfälle, die über die Anzeige zukünftiger Fahrmanöver oder der Wahrnehmung des Umfelds des Fahrzeugs hinausgehen. So ist die Information über den Status der Automation des Fahrzeugs eine wichtige Information für andere Verkehrsteilnehmende (vgl. Schieben et al., 2018), die ihre Erwartungen an die Kommunikation entsprechend anpassen können. Neben der Erforschung der heutigen, natürlichen Kommunikation zwischen (nicht-automatisierten) Verkehrsteilnehmenden, rücken spezifische Anwendungsfälle der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmenden in den Fokus von Forschung und Entwicklung.

Zur Erforschung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden ist das Erleben des automatisierten Fahrzeugs durch andere, außenstehende Verkehrsteilnehmende unabdingbar. Zwei grundlegende methodische Ansätze stehen dabei im Vordergrund der Forschung: Simulationen und Experimente auf abgeschlossenen Testfeldern. Bei einer Simulation werden Teilnehmenden Videoaufnahmen präsentiert (vgl. Beggiato Witzlack, Springer & Krems, 2017) oder Versuche in einer virtuellen Realität durchgeführt (vgl. Deb, Strawderman & Carruth, 2017). Dahingegen interagieren Teilnehmende bei Experimenten auf geschlossenen Testfeldern unter realitätsnahen Bedingungen mit einem automatisierten Fahrzeug. Zur Validierung von Untersuchungen in simulierten Testumgebungen sind reale Experimente unerlässlich. Ein Engpass bei der Durchführung dieser Experimente ist oftmals das automatisierte Fahrzeug als solches, weil dessen Technologie teuer und nicht immer verfügbar ist (Bruder et al., 2007).

Zur Lösung dieses Problems kann auf die Wizard-of-Oz (WoZ) Methode zurückgegriffen werden. Bei der WoZ Methode wird die Interaktion zwischen Teilnehmenden und einem vermeintlich autonom agierenden System untersucht (Kelley, 1984). Eignet sich die WoZ Methode auch zur Demonstration eines „automatisierten Fahrzeugs“ gegenüber anderen Verkehrsteilnehmenden? Diese Fragestellung soll im Folgenden beantwortet werden. Dazu wird zunächst der Stand der Forschung hinsichtlich des Einsatzes der WoZ Methode zur Untersuchung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmenden zusammengefasst. Anschließend wird ein Experiment zur Evaluation der WoZ Methode beschrieben und die Ergebnisse berichtet.

3.1.1 Die Wizard-of-Oz Methode zur Untersuchung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden

Der Stand der Forschung hinsichtlich experimenteller WoZ Studien zur Untersuchung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden wird in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Einsatz der WoZ Methode zielt darauf ab, Teilnehmenden ein vermeintlich automatisiert fahrendes Fahrzeug zu demonstrieren. Das Versuchsfahrzeug wird jedoch im Hintergrund von einem Menschen (Wizard) gesteuert, sodass Teilnehmende getäuscht werden. Die WoZ Methode bietet die Möglichkeit, Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden in einer realen Umgebung zu untersuchen.

Tabelle 1: Experimentelle WoZ Studien zur Untersuchung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden (VT)

Studie	Umsetzung WoZ			Simuliertes SAE Level	Studienschwerpunkt
	Dummy-Lenkrad / Joystick	Fahrerverdeckung	Getönte Windschutzscheibe		
Rothenbücher et al. (2016)		x		5	Kommunikation mit zu Fuß Gehenden bei der Querung und Fahrrad Fahrenden bei der Einfahrt in einen Kreisverkehr im öffentlichen Straßenverkehr
Habibovic et al. (2016); Lundgren et al. (2017)	x			4	Überquerungsbereitschaft von zu Fuß Gehenden; emotionaler Zustand
Dey, Martens, Eggen & Terken (2017)		x		5	Einfluss des Fahrverhaltens und Fahrzeugtyps auf die Überquerungsbereitschaft von zu Fuß Gehenden
Palmeiro et al. (2018)	x			4	Entscheidung von zu Fuß Gehenden die Straße zu queren
Fuest et al. (2018)		x		5	Implizite Kommunikation mit zu Fuß Gehenden
Faas (2018)	x	x	x	4 / 5	Explizite Kommunikation mit zu Fuß Gehenden

Für die Umsetzung des WoZ Konzept stehen prinzipiell mehrere Ansätze zur Verfügung. Das Konzept „Dummy-Lenkrad“ beruht darauf, dass ein Rechtslenker Fahrzeug mit einem zusätzlichen, für die Lenkung des Fahrzeugs irrelevanten, Lenkrad auf der linken Seite des Fahrzeugs ausgestattet wird. Das Lenkrad auf der rechten

Seite des Fahrzeugs wird mittels eines Gegenstands auf dem Armaturenbrett verdeckt, sodass es von außenstehenden Verkehrsteilnehmenden nicht (direkt) wahrnehmbar ist. Die Person hinter dem Dummy-Lenkrad kann sich fahrfremden Tätigkeiten zuwenden, weil das Fahrzeug während der Versuche vom „Beifahrenden“ (auf der rechten Seite des Fahrzeugs) gesteuert wird. Das Konzept eignet sich vor allem zur Untersuchung des Effekts der Ablenkung des Fahrzeuginsassen auf die Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmenden. Eine Abwandlung des Konzepts sieht vor, dass das Fahrzeug mit einem Joystick vom Beifahrenden gesteuert wird (vgl. Palmeiro et al., 2018). Im Konzept „Fahrerverdeckung“ wird der Fahrende des Fahrzeugs durch den Bezug eines Fahrzeugsitzes verdeckt, sodass der Fahrende von außenstehenden Verkehrsteilnehmenden nicht erkennbar ist. Die Umsetzung ist kostengünstig, der Effekt der Ablenkung eines Fahrenden kann jedoch nicht untersucht werden, weil der Fahrersitz durch den versteckten Wizard belegt ist. Das Konzept „Fahrerverdeckung“ eignet sich deshalb insbesondere zur Simulation des vollautomatisierten Fahrens (SAE Level 5). Ein weiteres Konzept, dass in der Studie von Faas (2018) zum Einsatz kommt, besteht aus der kompletten Verdunkelung der Windschutzscheibe, sodass außenstehende Verkehrsteilnehmende den Fahrzeuginnenraum nicht sehen.

Obwohl die WoZ Methode zur Untersuchung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden bereits eingesetzt wird, wurde die Methode bis heute nicht eingehend evaluiert. Lassen sich außenstehende Verkehrsteilnehmende von der Illusion eines automatisierten Fahrzeugs täuschen? Diese Fragestellung wurde mittels eines Experiments am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt untersucht.

3.1.2 Entwurf und Evaluation eines Wizard-of-Oz Experiments zur Untersuchung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden

Die Umsetzung des WoZ Konzepts erfolgte durch eine „Fahrerverdeckung“. Die Umsetzung wurde gewählt, weil sie den Effekt der Kommunikation zwischen Fahrenden und anderen Verkehrsteilnehmenden vollständig unterdrückt. Dem außenstehenden Verkehrsteilnehmenden wird ein vollautomatisiertes Fahrzeug (SAE Level 5) demonstriert. Der Aufbau der Fahrerverdeckung ist in Bild 3 (links) dargestellt. Die Fahrerverdeckung, die während der Fahrt über dem Wizard positioniert wird, besteht aus einem Holzgestell und einen Ledersitzbezug, der Öffnungen für das Sichtfeld und die Hände des Wizards zur Lenkung des Versuchsfahrzeugs hat. Bild 3 (rechts) zeigt die Fahrerverdeckung im Versuchsfahrzeug, die über dem Wizard positioniert ist. Aufgrund der Einschränkung des Sichtfelds des Wizards können keine (starken) Lenkmanöver gefahren werden. Das WoZ Konzept wurde durch Magnetschilder mit der Aufschrift „Automated Driving Test“, die auf der Motorhaube und den Seiten des Versuchsfahrzeugs angebracht waren, komplettiert.



Bild 3: Links: Aufbau der Fahrerverdeckung, Rechts: Fahrerverdeckung im Versuchsfahrzeug (mit Wizard)

Zur Evaluation des Konzepts wurde eine Studie mit 19 Teilnehmende auf dem Testfeld August-Euler Flugplatz der TU Darmstadt durchgeführt. Die Aufgabe der Teilnehmenden war es, die Vorbeifahrt eines automatisierten Fahrzeugs (WoZ) zu beobachten und alle Beobachtungen, die von ihren Erwartungen abweichen, zu notieren. Die Teilnehmenden wurden in zwei Gruppen eingeteilt, die unterschiedliche Szenarien der Vorbeifahrt beobachteten. Im Szenario „Zu Fuß Gehende“ beobachteten insgesamt 15 Teilnehmende die Vorbeifahrt des WoZ Fahrzeugs aus der Perspektive eines zu Fuß Gehenden (siehe Bild 4 links). Im Szenario „Kreuzung“ beobachteten 4 Teilnehmende die Vorbeifahrt des WoZ Fahrzeugs aus der Perspektive eines anderen, nicht-automatisierten Fahrzeugführendens an einer Straßenkreuzung (siehe Bild 4 rechts).

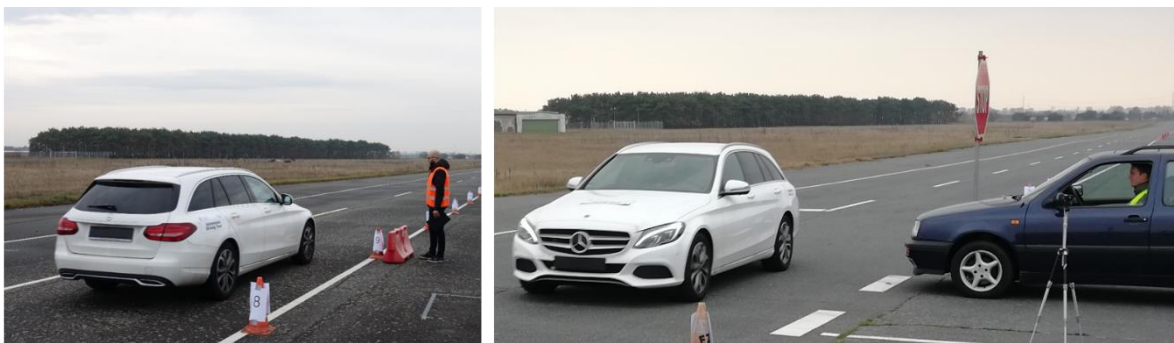


Bild 4: Szenarien: Zu Fuß Gehende (links), Fahrende an Kreuzung (rechts)

Teilnehmende erlebten insgesamt acht bzw. vier Vorbeifahrten des vermeintlich, automatisierten Fahrzeugs im Zu Fuß Gehende- bzw. Kreuzungsszenario. Die Parameter Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs (30 km/h; 10 km/h), Abstand zwischen Proband und Versuchsfahrzeug (5 m; 2,5 m) und Fahrtrichtung (von rechts; von links) wurden variiert. Während der Parameter Fahrtrichtung zu Beginn der Versuchsdurchführung zwischen Teilnehmenden permutiert wurde, wurden die Parameter Geschwindigkeit und Abstand vom größten zum kleinsten gewählt. Die Versuche starteten immer mit dem größeren Abstand (5 m) und der höheren Geschwindigkeit der Vorbeifahrt (30 km/h). Dies wurde festgelegt, weil die Entdeckungswahr-

scheinlichkeit des WoZ Konzepts hin zum kleinen Abstand bzw. geringeren Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs annahmeweise zunimmt. Im Szenario „Fahrende an Kreuzung“ wurde der Parameter Abstand auf 2,5 Meter fixiert, sodass bei Variation von Geschwindigkeit und Fahrtrichtung nur vier Vorbeifahrten durchgeführt wurden. Nach jeder Vorbeifahrt konnten sich Teilnehmende Notizen über Auffälligkeiten bzw. Beobachtungen am Fahrzeug machen.

Das Kollektiv der Teilnehmenden setzte sich aus vier Frauen und 15 Männern zusammen. Teilnehmende waren im Durchschnitt 25,3 Jahre alt (Median = 25 Jahre, Standardabweichung = 7,7 Jahre).

Die Notizen der Teilnehmenden während der Vorbeifahrt des WoZ Fahrzeugs und durchgeführte post-hoc Befragungen zeigen, dass kein Proband den Wizard entdeckt hat. Alle Teilnehmenden ließen sich durch das WoZ Konzept täuschen. Das Konzept eignet sich zur Demonstration eines vollautomatisierten Fahrzeugs gegenüber anderen Verkehrsteilnehmenden (insb. zu Fuß Gehende und anderen, nicht-automatisierten Fahrzeugführenden). Weil kein Proband den Wizard erkannt hat, kann der Einfluss der Parameter Geschwindigkeit, Abstand und Fahrtrichtung nicht exakt bestimmt werden. Das Experiment zeigt jedoch, dass zu Fuß Gehende selbst bei der Vorbeifahrt des Fahrzeugs mit einem Abstand von 2,5 Metern, einer Geschwindigkeit von 10 km/h und der Sicht zur Seite des Fahrenden (von rechts) den Wizard nicht erkennen.

In Zukunft kann das WoZ Fahrzeug zur Untersuchung der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden eingesetzt werden. Neben der Untersuchung von impliziter Kommunikation, zum Beispiel über die Wahl von bestimmten Geschwindigkeitsprofilen, können durch Aufbauten am Versuchsfahrzeug auch explizite Kommunikationsformen Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Der Vorteil der Umsetzung des WoZ Konzept als Fahrerüberdeckung ist die Unterdrückung des Einflusses des Fahrzeugnutzenden auf die Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmenden. Steht dagegen dieser Einfluss im Fokus der Untersuchung, kann auf andere WoZ Konzepte, wie das Dummy-Lenkrad, zurückgegriffen werden. Ein Nachteil von WoZ Konzepten liegt im menschlichen Einfluss auf das simulierte System. Im Fall eines automatisierten Fahrzeugs betrifft dies vor allem den Fahrstil des Wizards. Dem Einfluss des Menschen auf die Versuchsdurchführung sollte deshalb durch ausreichend Training des Wizards entgegengewirkt werden.

3.2 Akzeptanzmodellierung am Beispiel von Datenschutz im vernetzten Fahrzeug

Im Zuge der Automatisierung von Fahrzeugen schreitet auch die Vernetzung des privaten Automobils immer weiter voran, wobei diese beiden Prozesse nicht zwangsläufig einander bedingen. Diese Vernetzung des Fahrzeugs ermöglicht den Nutzenden den Zugriff auf eine Vielzahl an neuen Funktionen, die auf dem Datenaustausch mit externen Entitäten (z. Bsp. Backend-Server, andere Verkehrsteilnehmende) beruhen. Dabei ist sich ein Großteil der Nutzenden gar nicht bewusst, dass sie mit einem vernetzten System interagieren, dessen Dienste nicht zwingend über das lokale Fahrzeug ausgeführt werden (Schoettle & Sivak, 2014). Der Wandel von eindeutigen Mensch-Maschine Beziehungen (nicht vernetztes Fahrzeug) hin zu einem multiplen Mensch-Maschine Miteinander (vernetztes Fahrzeug) wird von den Nutzenden also oftmals nicht wahrgenommen. Es kommt somit zu einer speziellen

Form des Mangels an Situationsbewusstsein im Kontext der Vernetzung. Vorangegangene Umfragen zeigen, dass Nutzende zwar vernetzte Funktionen begrüßen, der Datenpreisgabe im Zuge der Vernetzung jedoch kritisch gegenüberstehen (u.a. Deloitte, 2016; FIA, 2015; Walter & Abendroth, 2017). In der Tat erreicht mit der Vernetzung die Relevanz der Datenpreisgabe auch das moderne Auto. Das private Vehikel, bisher Rückzugsraum und Ausdruck von Privatsphäre, tendiert durch die Penetration mit Sensoren gläsern zu werden (Roßnagel, 2015). Somit drängt sich die Frage auf, wie sich die Akzeptanz von vernetzten Diensten im Fahrzeug verändert, wenn ein adäquates Bewusstsein für das vernetzte, multiple Mensch-Maschine-Miteinander geschaffen wird.

Akzeptanzmodelle wie das *Technology Acceptance Model* (TAM; Davis, 1986) helfen Entwickelnden und Forschenden bereits seit vielen Jahren, die Nutzungsabsicht für ebensolche Kontexte zu beschreiben. Die Einführung des vernetzten und hochautomatisierten Fahrens stellt dabei ein Paradebeispiel eines Anwendungsfalls für die Akzeptanzforschung dar. Während bereits weitreichende Konzepte, Studien und Prototypen vorhanden sind, ist die Marktpenetration von derartigen Automobilen noch sehr gering. Aufgrund dessen kann nicht auf erfahrene Nutzende zurückgegriffen werden. Statt auf einen bestehenden Erfahrungsschatz wird meist auf die selbstberichtete Nutzungsintention zurückgegriffen. In diesem Abschnitt soll am Beispiel von vernetzten Diensten im Fahrzeug die Akzeptanzmodellierung vorgestellt und das weitreichende Potential auch für innovative Ansätze aufgezeigt werden. Dazu wird zuerst das TAM (Davis, 1986) vorgestellt, um dann ein Studienkonzept für die Erfassung der Akzeptanz von vernetzten Diensten im Fahrzeug abzuleiten.

Das TAM wurde ursprünglich entwickelt, um die Akzeptanz von Computern Ende der 1980er Jahre zu erklären. Es postuliert, dass die Nutzungsintention als Indikator der Akzeptanz hauptsächlich durch zwei Faktoren (wahrgenommene Einfachheit der Nutzung und wahrgenommene Nützlichkeit) erklärt werden kann (siehe Bild 5).

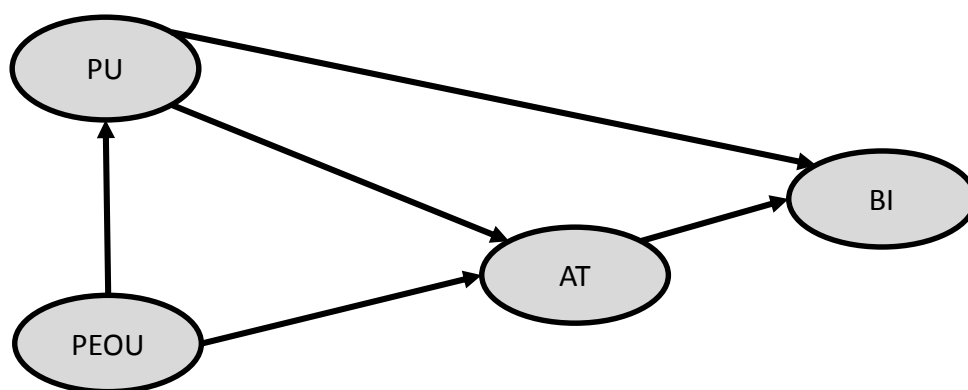


Bild 5: Das Technology Accetance Model (TAM) nach Davis (1986). PU = Perceived Usefulness; PEOU = Perceived Ease of Use; AT = Attitude towards using the system; BI = Behavioral Intention to use the system.

Seit seiner Postulierung wurden mehrere Derivate des TAM vorgeschlagen und in einer Vielzahl von Kontexten angewendet. Im Automobilkontext wurde zum Beispiel die Akzeptanz der Telematik im Fahrzeug (Chen & Chen, 2009) oder die Akzeptanz

von Elektromobilität (Fazel, 2014) untersucht. Vor allem das Modell von Chen & Chen (2008) behandelt thematisch mit der Telematik ein Themengebiet, dass dem vernetzten Auto sehr ähnelt. Allerdings beachtet das Modell nicht die Preisgabe von Daten im Zuge der Vernetzung. Eine Vielzahl von Studien unter anderem mit vernetzten Gegenständen haben jedoch bereits aufgezeigt, dass im Zuge der Datenpreisgabe Faktoren wie das Vertrauen in die datenverarbeitende Institution, Datenschutzbedenken sowie das wahrgenommene Risiko relevante Einflussgrößen sind (u.a. Lebek, Degirmenci & Breitner, 2013; Xu, Michael & Chen, 2013; Zhou, 2012). Daher wurde am IAD ein neues Akzeptanzmodell für vernetzte Dienste im Automobil entwickelt, dass der Datenpreisgabe und den damit assoziierten Diensten Rechnung trägt (siehe Bild 6). Eine genauere Herleitung und Erklärung des Modells finden Sie in Walter, Abendroth & Bruder (eingereicht).

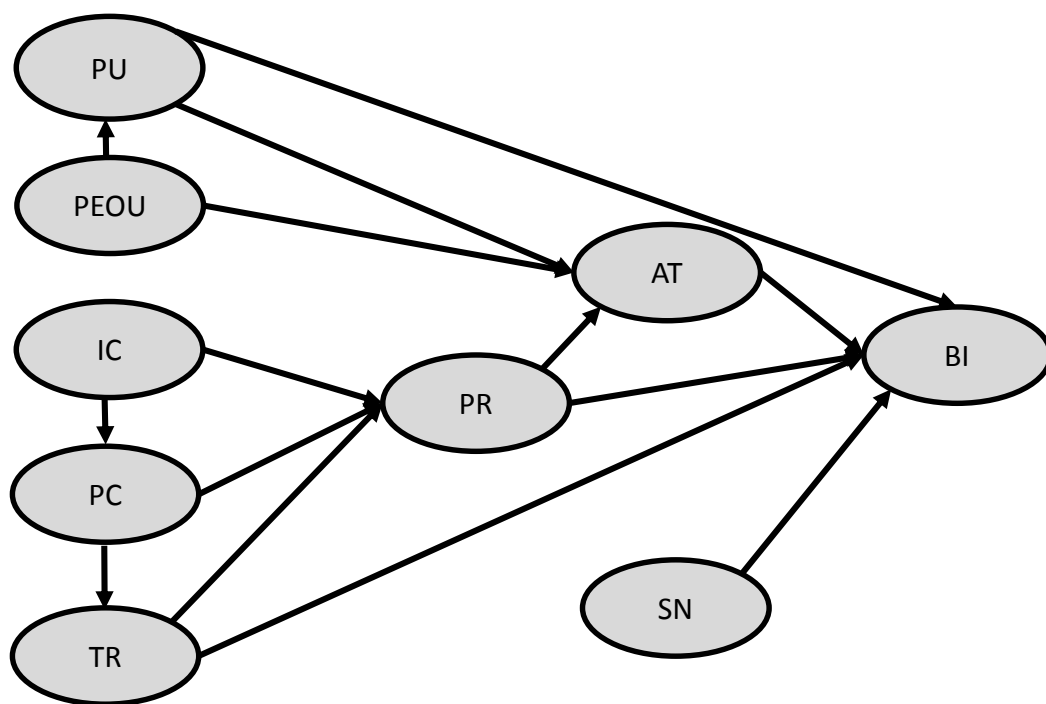


Bild 6: Postuliertes Akzeptanzmodell für vernetzte Dienste im Fahrzeug. PU = Perceived Usefulness; PEOU = Perceived Ease of Use; IC = Information Control; PC = Privacy Concerns; TR = Trust in data receiver; PR = Privacy Risk; AT = Attitude towards using the system; SN = Social Norm; BI = Behavioral Intention to use the system

Auf der Basis des Akzeptanzmodells wurde eine Simulatorstudie im IAD-Fahrsimulator durchgeführt, bei der die Teilnehmenden mit einem vernetzten Parkdienst interagierten. Dieser erlaubte die automatisierte Abstimmung mit dem privaten Kalender, um bei einem Auswärtstermin automatisch einen nahegelegenen (öffentlichen) Parkplatz zu reservieren. Im Gegenzug erforderte der vernetzte Dienst jedoch die Preisgabe einer Vielzahl von Daten, die von der Umfeldsensorik bis hin zu persönlichen Kalendereinträgen reichten. Im Zuge des Testszenarios bekamen die Teilnehmenden Parkplätze in der Nähe einer Bar im virtuellen Mannheim vorgeschlagen und wurden zu dem von Ihnen gewählten Parkplatz navigiert. Nachdem die

Fahrsimulation mit dem Erreichen des gewählten Parkplatzes endete, füllten die Teilnehmenden einen Akzeptanzfragebogen aus. Dieser wurde eigens auf der Basis des in Bild 6 gezeigten Modells entwickelt. Jedes Konstrukt (z. Bsp. Intention to Use) wurde durch mehrere Items erfasst, die zusammen eine Skala bildeten. Der Fragebogen wurde in einer Vorstudie auf Gütekriterien wie innere Konsistenz (Cronbach's Alpha) und Validität geprüft.

Insgesamt nahmen 120 Teilnehmende an der Fahrsimulatorstudie teil. Bevor das Akzeptanzmodell mittels der kostenpflichtigen Software SmartPLS 3 berechnet wurde, wurden für den kompletten Datensatz die Gütekriterien des Fragebogens nochmals berechnet. Alle Skalen wiesen eine ausreichend hohe interne Konsistenz auf (Cronbach's Alpha > .7), jedes Item erfasste primär die intendierten Konstrukte (Indikatorreliabilität: Outer Loadings sind >.708) und die verschiedenen Konstrukte konnten als eigenständige Konstrukte nachgewiesen werden (Erfüllung des Fornell-Larcker-Kriteriums). Die Berechnung des Strukturgleichungsmodells ergab, dass ein Großteil, aber nicht alle der postulierten Pfadbeziehungen bestätigt wurden (siehe Bild 7). Das Modell hat insgesamt eine gute Aufklärungskraft für die Varianz der Akzeptanz ($R^2_{\text{adjusted}} = 0.67$).

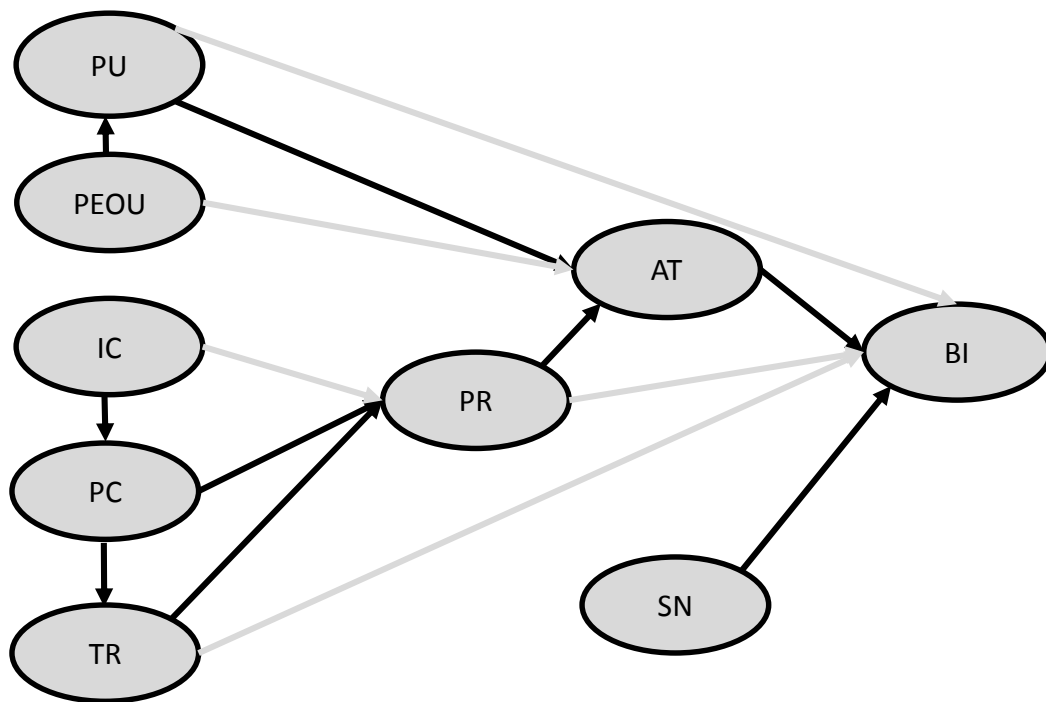


Bild 7: Empirisches Akzeptanzmodell für vernetzte Dienste im Fahrzeug. Graue Pfade konnten nicht signifikant nachgewiesen werden. $R^2_{\text{adjusted}} = .67$. PU = Perceived Usefulness; PEOU = Perceived Ease of Use; IC = Information Control; PC = Privacy Concerns; TR = Trust in data receiver; PR = Privacy Risk; AT = Attitude towards using the system; SN = Social Norm; BI = Behavioral Intention to use the system

Mit Hilfe dieses Akzeptanzmodells lassen sich entscheidende Faktoren für die Akzeptanz von vernetzten Fahrzeugen identifizieren. Sowohl für Entwickelnde als auch das Management zeigt das Modell auf, dass die Akzeptanz von vernetzten Diensten im modernen Fahrzeug auch durch Datenschutz-sensitive Faktoren wie Datenschutzbedenken und Vertrauen in den Datenempfänger beeinflusst werden.

Die Methode der Akzeptanzerfassung und –modellierung wurde hier beispielhaft an der Datenschutzrelevanz im vernetzten Fahrzeug demonstriert, lässt sich aber auch auf viele weitere fahrzeugbezogene Themen beziehen. So eignet sich die Akzeptanzmodellierung für die Bewertung von einzelnen Systemkomponenten wie einzelne Fahrerassistenzsysteme (Trösterer, Wurhofer, Rödel & Tscheligi, 2014), aber auch zur Bewertung umfassender Mobilitätsansätze wie das Car-Sharing (Simon, Guhr & Breitner, 2013) oder intelligenter Verkehrs- und Transportsysteme (Larue, Rakotonirainy, Haworth & Darvell, 2015).

4. FAZIT

Die immer stärker voranschreitende Automatisierung der Fahrzeugführung impliziert, dass die primäre Aufgabe der Fahrzeugführung nicht mehr dauerhaft vom Fahrenden übernommen werden muss. Diese Entwicklung sollte keinesfalls mit einer Abnahme der Bedeutung des Faktors Mensch gleichgesetzt werden. Im Gegenteil führt die zunehmende Automatisierung und Vernetzung des Fahrzeugs zu neuen Herausforderungen der Human Factors Forschung. Dies zeigt sich am Beispiel von fahrfremden Tätigkeiten, deren Relevanz für die Human Factors Forschung ab SAE Level 3 gegeben ist. Fahrende dürfen sich fahrfremden Tätigkeiten zuwenden, müssen nach entsprechender Aufforderung des Fahrsystems die Fahraufgabe wieder übernehmen. Erst bei vollautomatisierter Fahrt (SAE Level 5) ist ein Eingreifen des Fahrenden nicht mehr notwendig, sodass die Relevanz von fahrfremden Tätigkeiten hinsichtlich der sicherheitskritischen Übernahme der Fahrfunktion abnimmt. Insbesondere bei hochautomatisierter Fahrt und in Fällen bei dem das automatisierte System die Fahrzeugführung nicht mehr selbstständig gewährleisten kann, muss der Fahrzeugnutzende die Kontrolle über das Fahrzeug zurück übernehmen. Hierbei ist die Bewertung der Beanspruchung des Fahrzeugnutzenden durch die Belastung von fahrfremden Tätigkeiten wichtig, weil diese annahmeweise die sicherheitskritische Übernahme der Fahrzeugführung durch den Fahrzeugnutzenden beeinflusst.

Neben der Entstehung neuer Herausforderungen, kann am Beispiel der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden eine Verschiebung von Herausforderungen der Human Factors Forschung aufgezeigt werden. Mit zunehmender Automatisierung des Fahrzeugs rücken weitere Stakeholder der Fahrzeugnutzung in den Fokus der Human Factors Forschung, die auf niedrigen bzw. nicht-automatisierten Levels der Automation wenig bis keine Beachtung fanden. Ein hochautomatisiertes Fahrzeug muss die kommunikative Funktion des Fahrzeugführenden teilweise bzw. vollkommen ersetzen. Damit dies im Mischverkehr aus automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen gelingen kann, müssen neue Konzepte und Strategien der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden entwickelt und erforscht werden. Während die Relevanz der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden für hoch- bis zu vollautomatisierten Fahrzeugen zunimmt, sinkt die Bedeutung der Kommunikation zwischen Fahrzeugnutzenden und anderen Verkehrsteilnehmenden. Eine weitere Herausforderung

entsteht im Übergang zwischen teil- und hochautomatisiertem Fahren (SAE Level 3 und 4), bei dem es zu Missverständnissen in der Kommunikations-Triade Fahrzeug-nutzende – automatisiertes Fahrzeug - andere Verkehrsteilnehmende kommen kann. Damit es nicht zu einer sicherheitskritischen Miss-Kommunikation zwischen den Akteuren kommt, müssen kongruente Kommunikationsstrategien des automatisierten Fahrzeugs nach innen und außen erforscht werden.

Die Erforschung der Akzeptanz von vernetzten Diensten im Fahrzeug zeigt eine weitere Art des Wandels von Herausforderungen der Human Factors Forschung auf. Mit zunehmender Vernetzung von Diensten des Fahrzeugs, wie beispielsweise vernetzten Parkplatzdiensten, erhält der Aspekt des Datenschutzes Einzug in das Fahrzeug. Die Relevanz der Akzeptanz von vernetzten Diensten im Fahrzeug nimmt zu. Bereits für das hochautomatisierte Fahren ist die Vernetzung des Fahrzeugs eine elementare technische Grundlage (Chen & Englund, 2016). Im Falle einer vollständigen Vernetzung aller Verkehrsteilnehmenden, die im Szenario des hoch- und vollautomatisierten Fahrens möglich ist, wird die Relevanz der Akzeptanz von automatisierten Fahrzeugen unter Aspekten der Datenpreisgabe weiter steigen.

Die Betrachtung von drei ausgewählten Themengebieten der Human Factors Forschung im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens zeigt einen Wandel der Human Factors Forschung, der in der Entstehung neuer Herausforderungen besteht: Entstehung von neuen Herausforderungen, Verschiebung von Herausforderungen und Verstärkung von Herausforderungen. Bild 8 fasst diesen Wandel zusammen und zeigt Veränderungen der Relevanz der ausgewählten Themengebiete der Human Factors Forschung in Abhängigkeit des Automatisierungslevels und der Vernetzung auf.

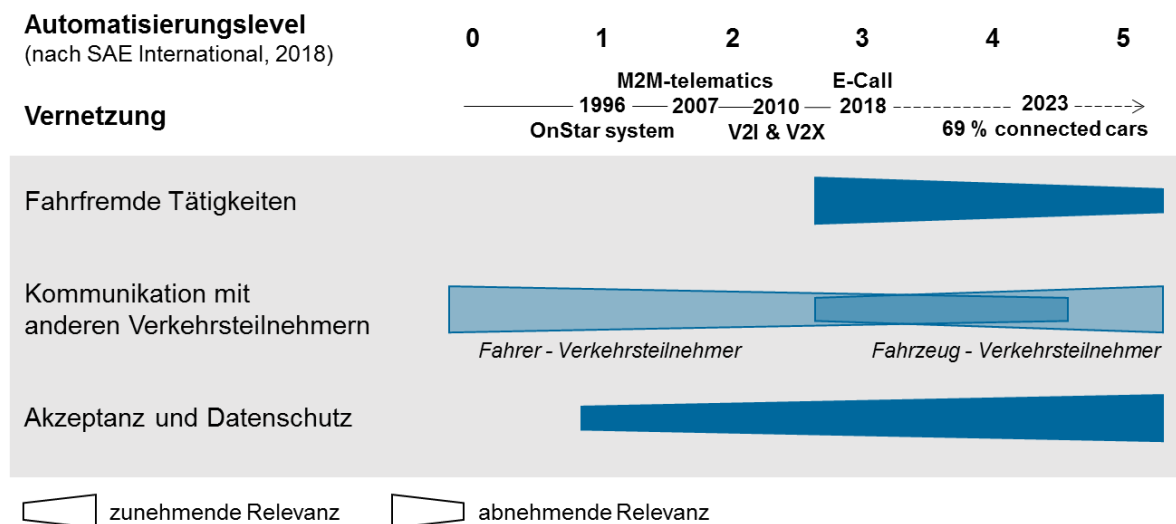


Bild 8: Veränderung der Relevanz ausgewählter Themengebiete der Human Factors Forschung in Abhängigkeit des Automatisierungslevels und der Vernetzung (Die Zeitachse der Vernetzung steht in keinem Zusammenhang mit den SAE Leveln)

Die Erweiterung, Verschiebung und Verstärkung der Forschung von Human Factors in der Fahrzeugautomation stellen neue Anforderungen an eingesetzte Methoden. Das multiple Mensch-Maschine Miteinander erforderte eine Adaption von Methoden

für das hoch- und vollautomatisierte Fahren. So steigen beispielsweise bei der Betrachtung der Vernetzung oder Kommunikation von mehreren Verkehrsteilnehmenden die Akteure, die im System Fahrende-Automation-Umgebung betrachtet werden müssen.

Die in diesem Beitrag aufgezeigten, neuen Ansätze der Human Factors Forschung im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens sind nicht abschließend zu betrachten. Weiterer Forschungsbedarf resultiert aus einem Wandel des Innenraums des Fahrzeugs, der durch die zunehmende Automatisierung bedingt ist. Die Konsequenzen des Wandels des „Fahrerarbeitsplatzes“ auf die veränderten informatischen Arbeiten, die daraus resultierenden neuen Präferenzen von Nutzenden sowie die ergonomische Gestaltung sind bis heute nur annähernd erforscht und sind eine weitere Herausforderung für die Human Factors Forschung. Ebenso sind neue Test- und Validierungsfälle des automatisierten Fahrens aus Sicht von Nutzenden zu erforschen.

LITERATUR

Abendroth, B., & Bruder, R. (2015). Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F., Singer, C. (Hrsg.). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlage, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3., überarb. und erg. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden, 3-16.

Beggiato, M., Witzlack, C., Springer, & S., Krems, J. (2017). The Right Moment of Braking as Informal Communication Signal Between Automated Vehicles and Pedestrians in Crossing Situations. In: Staton, N.A. (Hrsg.). *Advances in Human Aspects of Transportation*, 1072-1081.

Bruder, R., Abendroth, B., & Landau, K. (2007). Zum Nutzen von Fahrversuchen für die Gestaltung. In: Bruder, R., Winner, H. (Hrsg.). 3. Kolloquium Mensch und Fahrzeug. Wie objektiv sind Fahrversuche? Darmstadt, 14. Und 15. März 2007, 79-96.

Bubb, H. (2002) Der Fahrprozess. Informationsverarbeitung durch den Fahrer. In Verband der Automobilindustrie (Hrsg.), Technischer Kongress. Sicherheit durch Elektronik, 19-31.

Chen, H.H., & Chen, S.C. (2008). The empirical study of automotive telematics acceptance in Taiwan: comparing three Technology Acceptance Models. *International Journal of Mobile Communications*, 7(1), 50-65.

Chen, L., & Englund, C. (2016). Cooperative intersection management: a survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17 (2), 570-586.

Davis, F.D. (1985). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Deb, S., Strawderman, L.J., & Carruth, D.W. (2018). Investigating pedestrian suggestions for external features on fully autonomous vehicles: A virtual reality experiment. *Transportation Research Part F*, 59, 135-149.

Deloitte (2015). *Datenland Deutschland Connected Car. Generation Y und die nächste Generation des Automobils*. Aufgerufen am 14.02.2019 von https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/manufacturing/150909_DEL-15-5015_Brosch%C3%BCre_DasConnectedCar_rz_WEB-safe.pdf

DeWaard D. (1996). The measurement of drivers' mental workload. Dissertation. Groningen.

Dey, D., & Terken, J. (2016). Pedestrian Interaction with Vehicles: Roles of Explicit and Implicit Communication. Proceedings of the 9th ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, September 24-27, 2016, Oldenburg.

Dey, D., Martens, M., Eggen, B., & Terken, J. (2017). The Impact of Vehicle Appearance and Vehicle Behavior on Pedestrian Interaction with Autonomous Vehicles. *Adjunct Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, Oldenburg.

Faas, S. (2018). eHMI of Autonomous Vehicles: Should autonomous vehicles communicate with pedestrians, and if so, how? Abgerufen am 11.02.2019 von <https://wiki.unece.org/download/attachments/75531441/AVSR-02-09e.pdf?api=v2>

Fazel, L. (2014). *Akzeptanz von Elektromobilität: Entwicklung und Validierung eines Modells unter Berücksichtigung der Nutzungsform des Carsharing*. Springer-Verlag.

FIA - Federation International de l'Automobile (2015). *What europeans think about connected cars*. Brussels. Aufgerufen am 14.02.2019 von www.mycarmy-data.eu.

Fuest, T., Michalowski, L., Träris, L., Bellem, H., & Bengler, K. (2018). Using the Driving Behavior of an Automated Vehicles to Communicate Intentions – A Wizard of Oz Study. *Conference on Intelligent Transportation Systems*, Hawaii, USA.

Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), pp. 1938-1942. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Habibovic, A., Andersson, J., Nilsson, M., Lundgren, V.M., & Nilsson, J. (2016). Evaluating Interactions with Non-existing Automated Vehicles: Three Wizard of Oz Approaches. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Gothenburg, Sweden.

Hart, S.G., & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index). Results of Empirical and Theoretical Research, 139-183.

Hering K. (1999). Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr. Dissertation. Köln.

Imbsweiler, J., Ruesch, M., Weinreuter, H., Puente León, F., & Deml, B. (2018). Cooperation behaviour of road users in t-intersections during deadlock situations. *Transportation Research Part F*, 58, 665-677.

Kelley, J. F. (1984). An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. *ACM Transactions on Information Systems*, 2, 26–41.

Kyriakidis, M., Winter, J. C. F. de, Stanton, N., Bellet, T., van Arem, B., Brookhuis, K., Martens, M. H., Bengler, K., Andersson, J., Merat, N., Reed, N., Flament, M., Hagenzieker, M., & Happee, R. (2017). A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 53, 1-27.

Larue, G. S., Rakotonirainy, A., Haworth, N. L., & Darvell, M. (2015). Assessing driver acceptance of Intelligent Transport Systems in the context of railway level crossings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 30, 1-13.

Lebek, B., Degirmenci, K., & Breitner, M. H. (2013). Investigating the influence of security, privacy, and legal concerns on employees' intention to use BYOD mobile devices. In *19th Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2013)*, 15-17 August 2013, Chicago, Illinois.

Luczak, H. (1975) Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen. Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 10, Nr. 2. VDI-Verlag, Düsseldorf.

Lundgren, V.M., Habibovic, A., Andersson, J., Lagström, T., Nilsson, M., Sirkka, A., Fagerlönn, J., Fredriksson, R., Edgren, C. Krupenia, S., & Saluäär, D. (2016). Will There Be New Communication Needs When Introducing Automated Vehicles to the Urban Context? In: Stanton, L. et al. (Hrsg.) *Advances in Human Aspects of Transportation*, 485-498.

Müller, A. (2019). Beanspruchungsmessmethoden für fahrfremde Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Frühjahrskonferenz 2019.

Palmeiro, R.A., van der Kint, S., Vissers, L., Farah, H., Winter, J.C.F. & Hagenzieker, M. (2018). Interaction between pedestrians and automated vehicles: A Wizard of Oz experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, S. 1005-1020.

Ribback, S. (2003). Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen. Dissertation, Universität Potsdam.

Rohmert W. (1983). Formen menschlicher Arbeit. In: W. Rohmert und J. Rutenfranz (Hrsg.) *Praktische Arbeitsphysiologie*. Stuttgart New York: Georg Thieme (3), 5–29.

Roßnagel, A. (2015). Grundrechtsausgleich beim vernetzten Automobil. *Datenschutz und Datensicherheit-DuD*, 39(6), 353-358.

Rothenbücher, D., Li, J., Sirkin, D., Mok, B., & Ju, W. (2016). Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles. *25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, New York, USA.

SAE International (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

Sanders, AF. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53 (1), 61-97.

Schieben, A., Wilbrink, M., Kettwich, C., Madigan, R., Louw, T., & Merat, N. (2018). Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants: A design framework based on human needs and expectations. *Cognition, Technology and Work*, 1-17.

Schlick C., Bruder R., & Luczak H. (2018). Arbeitswissenschaft. 4. Aufl., Springer Vieweg, Berlin.

- Schoettle, B., & Sivak, M. (2014, November).** A survey of public opinion about connected vehicles in the US, the UK, and Australia. *In 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)* (pp. 687-692). IEEE.
- Simon, T. R., Guhr, N., & Breitner, M. H. (2013).** *User Acceptance of Mobile Services to Support and Enable Car Sharing: A First Empirical Study*. IWI.
- Schwalm M. (2009).** Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext. Dissertation, Universität des Saarlandes.
- Stanciu, S.C., Eby, D.W., Molnar, L.J., St. Louis, R.M., Zanier, N., & Kostyniuk, L.P. (2018).** Pedestrians/Bicyclists and Autonomous Vehicles: How Will They Communicate? *Transportation Research Record*, 5, 1-9.
- Sucha, M., Dostal, D., Risser, R. (2017).** Pedestrian-driver communication and decision strategies at marked crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 102, 41-50.
- Trösterer, S., Wurhofer, D., Rödel, C., & Tscheligi, M. (2014).** Using a parking assist system over time: Insights on acceptance and experiences. *In Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 1-8). ACM.
- Walter, J., & Abendroth, B. (2018).** Losing a Private Sphere? A Glance on the User Perspective on Privacy in Connected Cars. *In Advanced Microsystems for Automotive Applications 2017* (pp. 237-247). Springer, Cham.
- Walter, J., & Abendroth, B. (eingereicht).** Privacy does matter on the road: An acceptance modelling approach for connected cars taking data disclosure into account. *Computers in Human Behavior*.
- Xu, F., Michael, K., & Chen, X. (2013).** Factors affecting privacy disclosure on social network sites: an integrated model. *Electronic Commerce Research*, 13(2), 151-168.
- Zhou, T. (2012).** Examining location-based services usage from the perspectives of unified theory of acceptance and use of technology and privacy risk. *Journal of Electronic Commerce Research*, 13(2), 135.

PRINZIPIEN FÜR KOOPERATIVES VERKEHRSVERHALTEN – HEUTE UND MORGEN

Klaus Bengler

ZUSAMMENFASSUNG

Kooperatives Verkehrsverhalten stellt in allen Kulturen eine Grundbedingung für ein funktionierendes Verkehrsgeschehen dar. Die Einführung automatisiert fahrender Fahrzeuge wirft im Hinblick auf die Kooperation im Straßenverkehr eine Vielzahl von Fragen auf. Diese waren auch bisher schon Gegenstand der Betrachtung, wenn es um die Interaktion und Kooperation zwischen Menschen im Verkehr ging. Es treten neue Aspekte auf, wenn in Mischverkehrsszenarien Menschen mit automatisierten Fahrzeugen kooperieren und Nutzer mit ihr automatisiertes Fahrzeug im Sinn der Mensch-Maschine Interaktion nutzen.

EINLEITUNG

Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmern eine Grundbedingung für ein sicheres und effizientes Gelingen von Straßenverkehr dar. Die grundlegende Leistung im Straßenverkehr besteht darin, effizienten und kollisionsfreien Verkehr herzustellen. Auch die Kompensation von Fehlern anderer Verkehrsteilnehmer stellt eine kooperative Leistung dar, wie zum Beispiel im Fall eines Ausweichmanövers im Umfeld eines schlingernden Fahrzeugs.

Allgemein entstehen durch Kooperation - teils in komplexen Situationen - durch das Zusammenwirken einzelner Akteure Gruppenleistungen, die der einzelne Akteur so nicht vollbringen könnte. Entsprechende Leistungen sind im Tierreich, zwischen technischen Systemen und natürlich zwischen Menschen möglich. Ausschlaggebend ist die Tatsache, dass verschiedene Agenten mindestens jedoch zwei Akteure in einer Situation ein gemeinsames Ziel verfolgen und zur Zielerreichung ihr Verhalten entsprechend anpassen. Die erfolgreiche Kommunikation zwischen den Akteuren und die korrekte Einschätzung der Intentionen des Kooperationspartners sind wichtige Grundlagen für das Gelingen von Kooperation.

Konzepte, in denen das Konzept der Kooperation beschrieben wird, sind das joint cognitive system (Hollnagel and Woods, 1983) oder das Konzept der kooperativen Fahrzeugführung (Flemisch, Bengler, Bubb, Winner, and Bruder, 2014). Vor allen werden hier die Fragen der Mensch-Maschine-Interaktion beschrieben und Lösungen für die Rollenverteilung zwischen beiden Akteuren. Schmidtler, Knott, Hölzel und Bengler (2015) beschreiben Kooperation als ein sehr spezielles Interaktionsgeschehen, dass durch zeitliche, räumliche und Zielaspekte festgelegt wird.

Kooperatives Verkehrsverhalten reicht deutlich über die Mensch-Maschine-Interaktion im Sinn der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion hinaus. Es beschreibt darüber hinaus die Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmern.

Unter kooperativem Verkehrsverhalten kann man Verhaltensweisen aller Verkehrsteilnehmer zusammenfassen, bei denen durch die rechtzeitige Änderung des individuellen Verhaltens anderen Verkehrsteilnehmern die Ausführung intendierter Ma-

nöher ermöglicht werden. In nahezu allen Fällen ist die Kooperation für den Einzelnen mit Aufwand verbunden, wobei für den oder die anderen Verkehrsteilnehmer in der Regel ein Nutzen entsteht. Beispiele für die Kooperation zwischen Fahrzeugführern sind Einfädeln, Reißverschluss und Fahrstreifenwechsel im Allgemeinen. Beispiele für die Kooperation zwischen Fahrzeugführern und Fußgängern sind die Einigungen bei Fahrbahnüberquerungen oder Ein-/Ausparkmanövern. Im Straßenverkehr dient Kooperation dazu Mobilität kollisionsfrei und effizient herzustellen.

Wenn kooperatives Verkehrsverhalten als Anforderung genannt wird, dann scheint eine Diskussion beinahe überflüssig. Wäre Verkehr ohne Kooperation denn überhaupt denkbar?

Kooperation im Verkehr ist für alle Teilnehmer in der Straßenverkehrsordnung grundgelegt, da an mehreren Stellen gefordert wird, dass gegenseitige Rücksicht erforderlich ist und niemand behindert werden soll?

KOOPERATION BISHER UND IN ZUKUNFT

Die Betrachtung der Kooperation im Straßenverkehr war bereits mehrmals Hauptgegenstand der Verkehrssicherheitsforschung (Klebensberg, 1982).

Vor allem im Sinn der Verkehrskonfliktforschung wurde die Abwesenheit bzw. das nicht Gelingen von Kooperation und die entsprechenden Ursachen untersucht.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Automatisierung von Fahrzeugen tritt die Thematik wieder ins Zentrum. Stellt sich doch die Frage, welche Mechanismen wirken, die von automatisierten Fahrzeugen berücksichtigt werden müssen. Zudem wie automatisierte Fahrzeuge Kooperation als Akteure herstellen können. Färber (2015) gibt einen Überblick über die Notwendigkeit von Kommunikation und Kooperation im Umfeld der automatisierten Fahrzeugführung.

Bereits im Rahmen des 5. Darmstädter Kolloquiums gehen Bruder et al. (2011), Vollrath (2011) und Bengler und Flemisch (2011) sehr differenziert auf die Thematik der Kooperation im Umfeld der automatisierten Fahrzeugführung ein. Im Fokus dieser Beiträge steht die Interaktion und Kooperation iwS zwischen automatisiertem Fahrzeug und Nutzer bspw. im Fall einer Transition. Dieser Aspekt – der kooperativen Fahrzeugführung im Sinn der Kooperation zwischen Nutzer/Fahrer und Maschine/Fahrzeug soll daher in diesem Beitrag nicht vertieft werden.

Eine weitere Kooperationsdiskussion findet sich im Bereich der industriellen Robotik. Auch hier agieren Maschinen miteinander und im Umfeld von Menschen. Unter den allgemeinen Anforderungen Effizienz und Sicherheit werden ähnliche Metriken und Key Performance Indicators eingesetzt, wie sie auch in der Diskussion um Kooperation im Straßenverkehr Anwendung finden.

Im Unterschied zum Straßenverkehr folgen aber die Taxonomien zur industriellen Robotik einer anderen Logik, die für die Thematik der Kooperation zweckmäßiger scheint. Schmidtler, et al. (2015) und Onnasch et al. (2016) unterscheiden zwischen Koexistenz, Kooperation und Kollaboration.

Es reicht also bei weitem für die Gestaltung und Bewertung von Kooperation im Straßenverkehr nicht aus, nur den Grad der Automation (SAE International, 2016)

zu beschreiben, den ein automatisiertes Fahrzeug herstellen kann oder könnte. Bewegt es sich im öffentlichen Raum zwischen anderen Verkehrsteilnehmer, dann stellt es eine soziotechnische Situation her, in der die oben beschriebene Kooperationsaufgabe gelöst werden muss. Dabei ist es nicht zwangsläufig erforderlich, dass das automatisierte Fahrzeug dieselben Kooperations- und Kommunikationsleistungen erbringen muss wie ein menschlicher Akteur. Allerdings ist es notwendig, dass es den menschlichen Akteuren ermöglicht, ihrerseits kooperativ zu handeln.

Verschiedene Berichte zu Alltagssituationen von automatisiert fahrenden Versuchsträgern und die negativen Effekte im Verkehrsfluss in ihrem Umfeld zeigen die Wichtigkeit dieser Betrachtung.

Führt man die Betrachtung der Robotik mit den Ebenen der Automatisierung zusammen, dann fällt auf, dass im bisherigen Straßenverkehr unterschiedliche Akteure auf verschiedenen Automationsebenen verschiedenste Verkehrssituationen in Koexistenz und Kooperation bewältigen. Fuest et al. (2018) liefert eine Taxonomie zur Beschreibung von Kooperationssituationen im Straßenverkehr und geht dabei auf relevante Situationsmerkmale ein. Zu diesen zählen neben den beteiligten Akteuren, Infrastrukturmerkmalen, Verkehrsregelungen auch dynamische Merkmale (Geschwindigkeiten, Beschleunigungen). Auf Basis dieser Taxonomie lassen sich verschiedenste Kooperationssituationen wie das Ein- und Ausfädeln an Auffahrten oder Verflechtungen, das Einfädeln und Kreuzen oder die Begegnung von Fahrzeugen und Fußgängern in einer einheitlichen Sprache beschreiben.

Die Akteure werden häufig sehr stark vereinfacht in schwächere und folgerichtig stärkere Verkehrsteilnehmer (in den meisten Fällen Fahrzeuge) unterschieden. In Zukunft könnte es sinnvoll sein hier auch sehr starker Verkehrsteilnehmer zu unterscheiden, die mit besonderen Aufgaben des Transports oder Personentransports im Verkehrssystem unterwegs sind. Die motorisierten (stärkeren Verkehrsteilnehmer) werden entweder von Menschen gelenkt oder von Menschen die von Fahrerassistenzsystemen unterstützt werden. Zunehmend kommen automatisierte Fahrzeuge hinzu. Kooperation im Straßenverkehr findet also im Mischverkehr statt, der in Koexistenz und Kooperation bewältigt wird. Mangelhafte Kooperation äußert sich in herabgesetztem Verkehrsfluss und erhöhtem Unfallrisiko bis hin zu erhöhten Unfallzahlen.

Um Kooperation herzustellen ist Kommunikation erforderlich. Es lassen sich explizite und implizite Kommunikation unterscheiden. Bisher werden als Hilfsmittel und Einrichtungen zur expliziten Kommunikation Verkehrsregeln, Verkehrszeichen, Lichtsignalanlagen, Signalanlagen an Fahrzeugen, Gesten und in Ausnahmefällen sprachliche Äußerungen verwendet. Es wird mit Hilfe von Blinker, Hand-/Winkzeichen, Hupe, Lichtzeichen kommuniziert. Auch durch die eindeutige Kennzeichnung und Aussengestaltung automatisierter Fahrzeuge kann anderen Verkehrsteilnehmern eine spezielle Kooperationssituation kommuniziert werden.

Zusätzlich wird implizit kommuniziert dadurch, dass Fahrzeugbewegungen Intentionen des Fahrers oder der Automation zum Ausdruck bringen und durch gezielte Fahrmanöver Lücken für andere Verkehrsteilnehmer geöffnet oder geschlossen oder Raum an Engstellen hergestellt wird, der von anderen genutzt werden kann.

Aktuelle technische Systeme können diese expliziten und impliziten Signale bisher nicht oder nur bedingt interpretieren. Vor allen Dingen können sie nur einen Teil der

expliziten und impliziten Signale rechtzeitig an andere absenden. Aufgrund begrenzter sensorischer Reichweite erfolgt die Kommunikation und somit die Kooperation durch technische Systeme im Vergleich zum Menschen verhältnismäßig spät. Diese Faktoren tragen dazu bei, dass die Kooperation zwischen heutigen automatisierten Systemen sehr explizit und in der zeitlichen Folge unnatürlich spät erfolgt.

Vor allen Dingen zeigt sich aber, dass es noch schwer fällt automatisierten Fahrzeugen eine Eigenbewegung aufzuprägen, die als implizite Kommunikation intuitiv von anderen genutzt werden kann.

Auch wenn mangelhafte Kooperation zu stockendem Verkehr, Risiken und Unfällen führt, darf nicht übersehen werden, dass die erfolgreiche Kooperation menschlicher Verkehrsteilnehmer Leistungen aufweist, die bisher von technischen Systemen in dieser Weise noch nicht erbracht oder kopiert werden können.

PRINZIPIEN FÜR KOOPERATION

Verschiedene Konzepte können für die Gestaltung kooperativer und kooperierender Systeme herangezogen werden. Es ist hervorzuheben, dass diese Kooperationsmechanismen und –prinzipien bezogen auf den Straßenverkehr in den unterschiedlichsten Geschwindigkeitsbereichen und unter sehr unterschiedlichen situativen Bedingungen gelten sollen.

Orientiert an Grice (1967/1989, 1975/1993) sollte jede Kommunikation am so genannten Kooperationsprinzip und seinen Maximen orientieren. Demnach soll eine Kommunikation so ausgestaltet sein, wie es von dem akzeptierten Zweck oder der akzeptierten Richtung des Gesprächs verlangt wird. Kommunikationsbeiträge sollten so informativ wie für die gegebenen Zwecke nötig gestaltet sein und nicht informativer als nötig (Maxime der Quantität). Weiterhin sollten nur wahre und begründbare Aussagen gemacht werden (Maxime der Qualität), die auch relevant sind (Maxime der Relevanz). Ferner sollen Mehrdeutigkeiten vermieden werden (Maxime der Modalität).

Wendet man die Grice'schen Prinzipien auf die Kooperationssituationen im Straßenverkehr an, dann zeigt sich, dass bereits die Kommunikation zwischen menschlichen Verkehrsteilnehmern an Grenzen stoßen kann. Häufig werden zwischen Verkehrsteilnehmern zu wenige Informationen, zudem nicht ausreichend eindeutig kommuniziert, wodurch die Kooperation zum Erliegen kommt.

Eine weitere Betrachtung orientiert an der Mensch-Roboter-Kooperation liefern Dragan et al. 2013. Sie betonen die Wichtigkeit der Konzepte *Predicability* und *Legibility*. Während unter *Predicability* (Erwartungskonformität) die Eigenschaft eines Bewegungsverhaltens zu verstehen ist, welche die vom Beobachter erwarteten Ziele/Intentionen eines Roboters widerspiegelt, beschreibt die *Legibility* (Selbstbeschreibungsfähigkeit) die Eigenschaft eines Bewegungsverhaltens, das Beobachtern die Ziele/Intentionen eines Roboters vermittelt.

Wiederum übertragen auf die Kooperationssituation im Straßenverkehr zeigen diese Anforderungen, dass vor allem der impliziten Kommunikation durch die Bewegung eine zentrale Rolle zukommt.

Die besondere Rolle der expliziten Kommunikation ist dann gegeben, wenn die Kooperationspartner zum Stillstand kommen oder klare Rollenverteilungen in Form von Verkehrsregeln fehlen.

MESSBARE KOOPERATIONSLEISTUNG - VERFAHREN UND METRIKEN

Nachdem verschiedene gestalterische Ansätze im Bereich Verkehrsregelung und der Fahrzeuggestaltung denkbar sind, die Kooperation im Straßenverkehr unterstützen könnten, ist es erforderlich diese objektiv miteinander in ihrer Wirksamkeit und Effizienz zu vergleichen.

Hier fällt auf, dass die klassischen Metriken der Verkehrssicherheitsbewertung an ihre Grenzen stoßen, wenn es darum geht kooperatives Verhalten mehrerer Akteure in einer Situation zu beschreiben und zu quantifizieren. Metriken wie die time to collision oder der minimale Abstand zwischen Verkehrsteilnehmern stellen im Verlauf einer Kooperation nur eine Momentaufnahme dar, die den Grad der maximalen Sicherheit bzw. des maximalen Risikos beschreiben. Sie sind aber nicht geeignet den zeitlichen Verlauf und die Verhaltensänderungen der Akteure in der Situation zu quantifizieren.

Lehsing et al (2015) zeigen das Potential verschiedener Methoden, darunter die Cross Recurrence Analyse und der Kreuzkorrelation, um den Grad der zeitlichen Synchronisierung zwischen den einzelnen Akteuren bei Begegnungsszenarien zu quantifizieren. So kann auf Basis des zeitlichen Versatzes der zwischen den beobachtbaren/messbaren Verhaltensweisen der Akteure auftritt die Höhe und Qualität der Kooperation quantifiziert werden.

Einem anderen Ansatz folgen Zimmermann et al. 2015 und Lütteken et al. (2016) in ihrem Beitrag mit einer spieltheoretischen Beschreibung der Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmern in einem Fahrstreifenwechselszenario, der es ermöglicht die wechselnde Kooperationsbereitschaft eines Akteurs in aufeinanderfolgenden Situationen zu quantifizieren. Hier werden zeitliche Kosten virtuellen Gewinnen in Form von credits gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass das Angebot oder das Annehmen von Kooperation durchaus eine bewusste wenn auch nicht immer rationale Entscheidung der Versuchsteilnehmer ist, wenn es darum geht, Lücken für einen Fahrstreifenwechsel zu öffnen oder anzunehmen.

Im Projekt Interact (Interact, 2019) werden Feldbeobachtungen in verschiedenen Kulturkreisen durchgeführt. Die Interaktion zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern wird anhand objektiver Kenngrößen bezüglich der impliziten und expliziten Kommunikation, des zeitlichen Verlaufs der Kooperation und des Erfolgs der Kooperation analysiert und im Detail beschrieben.

Diese Auswahl an Beispielen zeigt, dass das komplexe Phänomen Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmern durchaus einer systematischen Erfassung und Analyse zugänglich ist. Die entsprechenden Erkenntnisse sind geeignet, um gezielt Maßnahmen, welche die Kooperation fördern sollen zu gestalten und zu bewerten.

KOOPERATION MORGEN

Mit der zunehmenden Automation müssen also nicht nur die Herausforderungen der Fahrzeugführung, sondern auch die Aufgaben der Kommunikation und Kooperation gelöst werden. Dies trifft sowohl für explizite als auch implizite Kommunikation zu. Weiterhin ist denkbar, dass diese stark am Menschen orientierten Kommunikationswege durch technische Mittel wie Car2X ergänzt werden. Das könnte bedeuten, dass in komplexen, gefährlichen nicht standardisierten Situationen durch das Zusammenwirken verschiedener Kooperationsansätze eine Gruppenleistung entsteht: zum Beispiel die C2X basierte Warnung vor einem Schlagloch, Wetterereignis oder auch die Organisation eines Reissverschlussverfahrens.

Zu beachten bleibt aber, dass über einen langen Zeitraum im Mischverkehr verschiedenste Kooperationsmechanismen parallel eingesetzt werden und diese zueinander kompatibel sein müssen.

Auch die beschriebenen Methoden zur Erfassung von Kooperation und Kooperationsleistung können nur den Anfang darstellen.

LITERATUR

Bengler, K., Flemisch, F. (2011). Von H-Mode zur kooperativen Fahrzeugführung – Grundlegende ergonomische Fragestellungen. 5. Darmstädter Kolloquium: Zukunft der Fahrzeugführung – kooperativ oder autonom. Ergonomia Verlag, Stuttgart.

Bruder, R., Franz, B., Kauer, M., Schreiber, M. (2011). Fahrerverhalten bei einer kooperativen Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. 5. Darmstädter Kolloquium: Zukunft der Fahrzeugführung – kooperativ oder autonom. Ergonomia Verlag, Stuttgart.

Dragan, A. D., Lee, K. C.T., Srinivasa, S. S. (2013). Legibility and predictability of robot motion. In H. Kuzuoka (Hrsg.), 2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). 3 - 6 March 2013, Tokyo, Japan; [including workshop papers (S. 301–308). Piscataway, NJ: IEEE.

Färber, B. (2015). Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern. In M. Maurer & S. Becker (Hrsg.), Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte (Springer Open, S. 127–146). Berlin [u.a.]: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45854-9_7

Flemisch, F. O., Bengler, K., Bubb, H., Winner, H., Bruder, R. (2014). Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire. Ergonomics, 57(3), 343–360. doi: 10.1080/00140139.2013.869355

Fuest, T., Sorokin, L., Bellem, H., Bengler, K. (2018). Taxonomy of Traffic Situations for the Interaction between Automated Vehicles and Human Road Users. In N. A. Stanton (Hrsg.), Advances in Human Aspects of Transportation. Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation, July 17-21, 2017, the Westin Bonaventure Hotel, Los Angeles, California, USA (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 597, Bd. 597, S. 708–719). Cham: Springer International Publishing; Imprint; Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_68

Grice, H. P. (1967/1989). Logic and conversation. In H. P. Grice (Ed.), *Studies in the way of words*. Cambridge: Harvard University Press.

Grice, H. P. (1975/1993). Logik und Konversation. In G. Meggle (Ed.), *Handlung, Kommunikation, Bedeutung – Mit einem Anhang zur Taschenbuchausgabe* (pp. 243–265). Frankfurt: Suhrkamp.

Hollnagel, E., Woods, D. D. (1983). Cognitive systems engineering: new wine in new bottles. *International journal of man-machine studies*, 18(6), 583–600. doi: 10.1016/S0020-7373(83)80034-0

Interact (2019) <https://www.interact-roadautomation.eu/> (13.02.2019)

Klebensberg, D. (1982). Verkehrspsychologie. Berlin: Springer.

Lehsing, C., Kracke, A., Bengler, K. (2015). Urban Perception - A Cross - Correlation Approach to Quantify the Social Interaction in a Multiple Simulator Setting. *Proceedings of the 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE-ITSC)*, IEEE, 2015 Gran Canaria, Spain.

Lütteken, N., Zimmermann, M., Bengler, K. (2016). Using Gamification to Motivate Human Cooperation in a Lane-change Scenario. In *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 899–906). Rio de Janeiro, Brazil: IEEE. doi: 10.1109/ITSC.2016.7795662

Onnasch, L., Maier, X., Jürgensohn, T. (2016). Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle. *Baua: Fokus*, 1–12. <https://doi.org/10.21934/baua:fokus20160630>

SAE International. (2016). SAE J3016 - Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Retrieved from http://standards.sae.org/j3016_201609/

Schmidtler, J., Knott, V., Hölzel, C., Bengler, K. (2015). Human Centered Assistance Applications for the working environment of the future. *Occupational Ergonomics*, 12(3), 83–95. doi: 10.3233/OER-150226

Vollrath, M. (2011). Was mache ich nur meinem Fahrer? Probleme und Möglichkeiten kooperativer Systeme. 5. Darmstädter Kolloquium: Zukunft der Fahrzeugführung – kooperativ oder autonom. Ergonomia Verlag, Stuttgart.

Zimmermann, M., Fahrmeier, L., Bengler, K. J. (2015). A Roland for an Oliver? Subjective Perception of Cooperation During Conditionally Automated Driving. In W. W. Smari, W. N. McQuay, & M. Nygård (Eds.), *2015 International Conference on Collaboration Technologies and Systems* (pp. 57–63). Atlanta, GA: IEEE. doi: 10.1109/CTS.2015.7210400

Zimmermann, M., Schopf, D., Lütteken, N., Liu, Z., Storost, K., Baumann, M., Bengler, K. J. (2018). Carrot and stick: A game-theoretic approach to motivate cooperative driving through social interaction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 88, 159–175. doi: 10.1016/j.trc.2018.01.017

KOOPERATION IM AUTOMATISCH-MANUELLEM MISCHVERKEHR INTENTIONSERKENNUNG MITTELS FUZZY-INFERENZ AN EINER GLEICHRANGIGEN ENG- STELLE

Hannes Weinreuter, Jonas Imbsweiler, Fernando Puente León, Barbara Deml

ZUSAMMENFASUNG

Innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre werden auf deutschen Straßen sowohl manuell als auch automatisch geführte Fahrzeuge anzutreffen sein (Johannig & Mildner, 2015). Studienergebnisse legen den Schluss nahe, dass in diesem Mischverkehr mit erhöhten Unfallzahlen zu rechnen ist. Insbesondere in Verkehrssituationen, die nach der Straßenverkehrsordnung (StVO) nicht eindeutig geregelt sind und die eine Kooperation zwischen den Verkehrsteilnehmern erfordern, scheint deshalb Forschungs- und Handlungsbedarf zu bestehen. Solche Kooperationssituationen ergeben sich im Straßenverkehr auf Autobahnen bei Spurwechseln und Auffahrten (Kauffmann, Raeth, Winkler & Vollrath, 2017) sowie in innerstädtischen Szenarien, wie gleichrangigen Engstellen oder bei gleichzeitigem Eintreffen auf vorfahrtsgeregelten Kreuzungen (Imbsweiler, Ruesch, Palyafári, Deml & Puente León, 2017). Die letztgenannten innerstädtischen Kooperationssituationen (siehe Bild 1) werden im Rahmen dieser Arbeit betrachtet, wobei der Beitrag folgendermaßen aufgebaut ist:

Menschliche Fahrer können unregelte Kooperationssituationen meist problemlos bewältigen. Es ist bislang aber nicht ausreichend bekannt, wie es Menschen gelingt, die Intentionen eines anderen Fahrers zu erkennen und auf dieser Basis eine adäquate Verhaltensentscheidung zu treffen (siehe Abschnitt 1). Um menschliches Kooperationsverhalten besser zu verstehen, wurden zunächst empirische Untersuchungen durchgeführt (siehe Abschnitt 2). Aufbauend auf diese Ergebnisse wird dann ein Modellierungsansatz vorgestellt, der er sich zum Ziel setzt, speziell die Intentionserkennung an einer gleichrangigen Engstelle abzubilden (siehe Abschnitt 3). Die Arbeit endet mit einem Ausblick auf aktuell laufende Forschungsarbeiten (siehe Abschnitt 4).

KOOPERATION IM STÄDTISCHEN VERKEHR

Unter Kooperation wird ganz allgemein die Zusammenarbeit von mindestens zwei Akteuren bezeichnet, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Im Rahmen des Vorhabens, das dieser Arbeit zugrunde liegt, werden zwei Kooperationssituationen im Straßenverkehr näher betrachtet: In dem einen Fall nähern sich drei beziehungsweise vier Verkehrsteilnehmer nahezu zeitgleich an eine vorfahrtsgeregelte T-Kreuzung (siehe Abb. 1, links) beziehungsweise X-Kreuzung (siehe Abb. 1, Mitte); in dem anderen Fall fahren zwei Verkehrsteilnehmer gleichzeitig an eine gleichrangige Engstelle (siehe Abb. 1, rechts). In beiden Situationen entsteht eine *Pattsituation*, in denen die StVO §11(3) vorsieht, dass die Verkehrsteilnehmer miteinander kommunizieren und das Ergebnis kooperativ aushandeln. Damit diese Rolle künftig auch von automatisch geführten Fahrzeugen wahrgenommen werden kann, stellt sich die Frage, wie Fahrer die *Intention* anderer beteiligter Akteure erkennen.

Um die Handlungsintentionen anderer zu erkennen, verarbeiten Autofahrer Signale der a) *Verkehrsumwelt* und des b) *Verkehrsverhaltens*.

a) Rasouli, Kotseruba und Tsotsos (2018) haben in einem Überblicksartikel relevante Einflussfaktoren der Verkehrsumwelt zusammengefasst, wobei unter anderem demografische Parameter (Alter, Geschlecht), das Verkehrsaufkommen oder die Fahrzeugeigenschaften (Farbe, Typ, Größe) unsere Intentionserkennung zu beeinflussen scheinen. Auch, wenn sich diese Studie auf die Interaktion von Autofahrern und vulnerablen Verkehrsteilnehmern, wie Fahrradfahrern oder Fußgängern, bezieht, können die Punkte auch für die Kooperation von Autofahrern interessant sein.

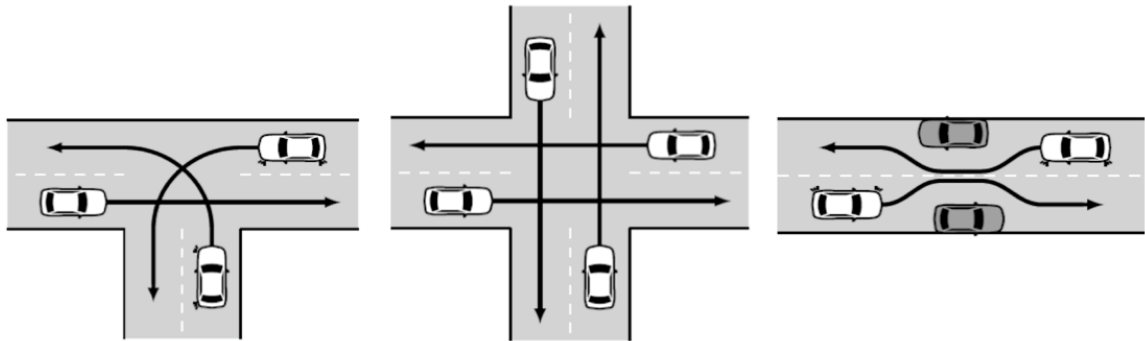


Bild 1: Potenzielle *Verklemmungen* im städtischen Verkehr.

b) Bezüglich des Verkehrsverhaltens scheinen neben dem Einsatz technischer Signale (z. B. Fahrtrichtungsanzeiger, Horn) insbesondere non-verbale Signale relevant (Färber, 2015). Hierzu zählen Augen- und Blickkontakt, Gesten und Gesichtsbeziehungsweise Körperbewegungen sowie räumliches Verhalten. Zu allen genannten Punkten liegen auch bereits empirische Studien vor:

Während der Augen- und Blickkontakt in früheren Studien (z. B. Risser, 1985) als besonders wichtig eingeschätzt wurde, relativieren neuere Arbeiten (z. B. Gasser, 2015; Witzlack, Beggato & Krems, 2016) dessen Bedeutsamkeit.

Auch die Bedeutung von Gesten und Gesichtsbeziehungsweise Körperbewegungen im Straßenverkehr wird schon seit langem untersucht (z. B. Färber, 2015; Merten, 1977b; Risser, 1988). Anders als emotional motivierte Gesten interessieren vor dem Hintergrund der Kooperation im Mischverkehr vor allem auffordernde Handgesten oder zustimmendes Nicken, mit denen andere zum Fahren animiert werden sollen (z. B. Kitazaki & Mhyre, 2015).

Eine zentrale Bedeutung kommt schließlich noch dem räumlichen Verhalten zu (Argyle & Schmidt, 2005). Neben der (un-)bewussten lateralen Fahrtrajektorie, scheint insbesondere das longitudinale Annäherungsverhalten (beschleunigen, verzögern, halten der Geschwindigkeit) aufschlussreich darüber, ob einem anderen Vorfahrt gewährt wird oder nicht (z. B. Beggato, Witzlack, Springer & Krems, 2017; Björklund & Åberg, 2005; Janssen, van der Horst, Bakker & Broeke, 1988). Das räumliche Verhalten kann zusammenfassend auch als Fahrstil bezeichnet werden. In der Literatur existieren verschiedene Ansätze, um den Fahrstil eines Fahrers zu beurteilen. Murphey, Milton & Kiliaris (2009) nutzen den Ruck, um den Fahrstil zu klassifizieren. Constantinescu, Marinoiu & Vladoiu (2010) nutzen mehrere Fahrpa-

parameter und klassifizieren den Fahrstil mit einer Cluster- und Hauptkomponentenanalyse. Aljaafreh, Alshabat & Al-Din (2012) stellen eine Fahrstilerkennung auf der Basis eines Fuzzy-Inferenz-Systems vor. Phillips, Wheeler & Kochenderfer (2017) stellen eine Methode zur Intentionsprädiktion an innerstädtischen Kreuzungen vor, sie nutzen dazu LSTM-Netze (LSTM: long short-time memory). Naumann und Stiller (2017) integrieren die Intentionsprädiktion an einer gleichrangigen Engstelle in die Bewegungsplanung eines automatischen Fahrzeugs. In der vorliegenden erfolgt die Intentionsprädiktion mittels Fuzzy-Inferenz, wobei ein Aggressivitätsmaß berechnet wird (siehe Abschnitt 3).

Es ist augenscheinlich, dass die genannten Signale unterschiedlich ausdrücklich sind. Risser (1985) verwendet in dem Zusammenhang die Begriffe implizite und *explizite Kommunikation*. Und natürlich können alle Signale auch miteinander gekoppelt werden (z. B. Kitazaki & Mhyre, 2015; Lee & Shepard, 2016). Es gibt aber bislang kaum Studien, in denen diese Dynamik berücksichtigt wird. Den meisten Arbeiten liegt lediglich ein statisches Sender-Empfänger-Modell der Kommunikation zu Grunde (z. B. Ba et al., 2015; Färber, 2015; Merten, 1977a; Risser, 1985).

Darüber hinaus ist noch zu erwähnen, dass es nicht allen Fahrer gleich gut gelingt, die Intention anderer einzuschätzen. Wesentliche Faktoren scheinen dabei unter anderem Erwartungen (z. B. Rumar, 1990) oder Fahrerfahrung (z. B. Renge, 2000) zu sein.

BEOBACHTUNGSSTUDIE

Anknüpfend an Vorarbeiten von de Ceunynck et al. (2013) wurde zunächst eine Beobachtungsstudie im innerstädtischen Verkehr durchgeführt. In Rücksprache mit der Polizei Karlsruhe wurden eine für die Fragestellung repräsentative Engstelle sowie eine T- und eine X-Kreuzung identifiziert und jeweils sowohl am Vormittag als auch am Nachmittag fünf Stunden lang beobachtet. Jede relevante Verkehrsposition wurde dabei durch einen Beobachter (zwei für die Engstelle, drei für T-Kreuzung und vier für die X-Kreuzung) auf der Grundlage eines standardisierten Kodierschemas beobachtet. Zudem haben alle Beobachter im Vorfeld ein entsprechendes Training durchlaufen und es wurde im Nachgang zur Qualitätssicherung auch ihre Beobachterübereinstimmung (Inter-Rater-Reliabilität) berechnet; diese konnte durchgängig als recht hoch eingestuft werden. Das wesentliche Ziel der Studie war es, das potenziell mögliche Kooperationsverhalten in den jeweiligen Verkehrsszenarien zu rekonstruieren. So konnten zum Beispiel für die T-Kreuzung sechs verschiedene Kooperationssequenzen identifiziert werden, von denen drei ein defensives und drei ein offensives Verhalten charakterisieren (Abb. 2).

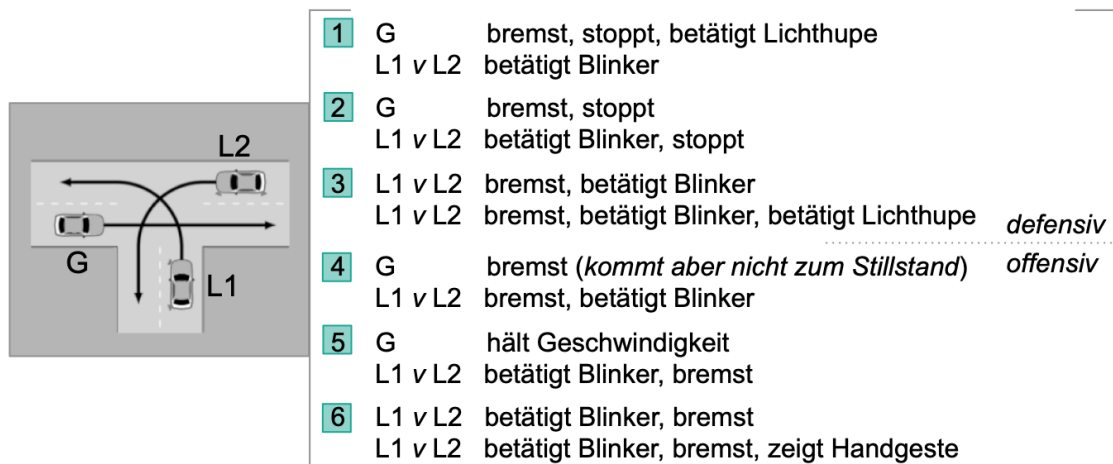


Bild 2: Bezüglich der T-Kreuzung konnten sechs Kooperationsszenarien identifiziert werden.

Ähnliche Ergebnisse resultierten auch für die Beobachtung der X-Kreuzung oder der Engstelle, die für die hier vorliegende Arbeit relevant ist (siehe Imbsweiler, Ruesch et al., 2016). Auf dieser Basis wurden dann Drehbücher generiert, die sowohl die Grundlage eines Feldexperimentes als auch einer Fahrsimulatorstudie bildeten.

INTENTIONSPRÄDIKTION MITTELS FUZZY-INFERENZ

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst mittels Fuzzy-Inferenz ein Aggressivitätsmaß berechnet. Dieses wird anschließend zur Intentionsschätzung in der Engstellsituation verwendet. Die Validierung der Intensionsprädiktion erfolgt mit Daten aus einer Fahrsimulatorstudie, die auf den Drehbüchern der oben berichteten Beobachtungsstudie basiert.

Modellierungsansatz

Die Berechnung des Aggressivitätsmaßes beruht auf den Trajektorien der Fahrzeuge, für welche die Intention prädiziert werden soll. Dies bietet sich an, da diese Informationen in einem automatischen Fahrzeug ohnehin vorhanden sind und somit kein zusätzlicher Aufwand für die Sensorik nötig ist. Zur Berechnung des Aggressivitätsmaßes auf der Basis der Fuzzy-Inferenz werden lediglich die zeitlichen Verläufe der Geschwindigkeit und der Beschleunigung verwendet. Die Mittelwerte dieser beiden Größen im Bereich von 30 m bis 5 m stellen die Eingangsgrößen für die Berechnung des Aggressivitätsmaßes dar. Der erste Schritt der Fuzzy-Inferenz ist die sogenannte Fuzzifizierung (Schmidt et al., 2010). Dabei werden die Eingangsgrößen in einander überlappende Klassen eingeteilt und daraufhin wird überprüft, welchen Klassen sie angehören. Diese Zuordnung erfolgt über die Zugehörigkeitsfunktionen, welche die Zugehörigkeit der Eingangsgröße zu den Klassen festlegen. Die Zugehörigkeitsfunktionen für die Geschwindigkeit $\mu_{v,i}$ sind in Abb. 3 oben gegeben, die der Beschleunigung $\mu_{a,j}$ sind in Abb. 3 unten zu sehen.

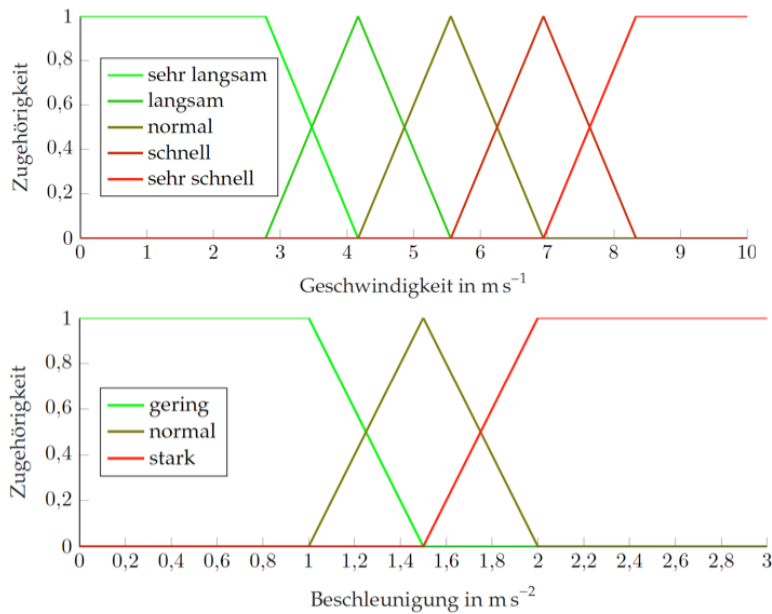


Bild 3: Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_{v,i}$ für die Geschwindigkeit (oben) und $\mu_{a,j}$ für den Betrag der Beschleunigung (unten).

Die Kurvenverläufe wurden basierend auf den Daten einer früheren Studie festgelegt und unverändert für die vorliegende Arbeit übernommen. Zur Anwendung der Fuzzy-Inferenz wird darüber hinaus noch eine Regelbasis benötigt, die, basierend auf den Zuordnungen der Eingangsgrößen, eine Verhaltensbewertung in den Stufen *passiv*, *normal*, *aggressiv* und *sehr aggressiv* festlegt. Die verwendete Regelbasis ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Regelbasis des Fuzzy-Algorithmus

Geschwindigkeit	Beschleunigung	Bewertung
sehr langsam	gering	passiv
sehr langsam	mittel	passiv
sehr langsam	stark	normal
langsam	gering	passiv
langsam	mittel	passiv
langsam	stark	normal
mittel	gering	normal
mittel	mittel	normal
mittel	stark	aggressiv
schnell	gering	normal
schnell	mittel	aggressiv
schnell	stark	sehr aggressiv
sehr schnell	gering	aggressiv
sehr schnell	mittel	sehr aggressiv
sehr schnell	stark	sehr aggressiv

Die Klasseneinteilung für die beiden Eingangsgrößen Geschwindigkeit und Beschleunigung der Regel i müssen jeweils beide erfüllt sein ($\mu_{v,i} > 0$ und $\mu_{a,j} > 0$), um die zugehörige Einstufung auszulösen. Da Werte einer Eingangsgröße Teil mehrerer Klassen sein können, lösen im Allgemeinen mehrere Regeln aus und für jede Regel wird ein Gewichtungsfaktor bestimmt. Die Gewichte der Regeln w_i werden im Sinne der Fuzzy-Logik über die Minimumsfunktion berechnet (Schmidt et al., 2010):

$$w_i = \min(\mu_{v,i}; \mu_{a,j}) \quad (1)$$

Um das Maß a für die Aggressivität des Fahrers zu erhalten, wird schließlich die Defuzzifizierung durchgeführt (Schmidt et al., 2010):

$$a = \frac{\sum_i w_i k_i}{\sum_i w_i} \quad (2)$$

Die k_i sind die Ausgangsgewichte, die der jeweiligen Verhaltensbewertung der Regel i zugeordnet sind. Die verwendeten Ausgangsgewichte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Ausgangsgewichte der Bewertungen

Bewertung	k
Passiv	0,15
normal	0,4
aggressiv	0,5
sehr aggressiv	1

Empirische Validierung

Zur Validierung der Intentionsprädiktion werden die bei einer Fahrsimulatorstudie aufgezeichneten Trajektorien verwendet. Bei der Studie fuhren die Probanden durch Engstellen- und Kreuzungsszenarien, bei denen es zu Blockadesituationen kommt, die durch Kooperation gelöst werden müssen. Die Kooperationsfahrzeuge zeigten dabei sowohl defensives Verhalten, das die Probanden dazu anleiten sollte, die Situation als Erste zu passieren als auch offensives Verhalten, bei dem die Probanden angehalten waren zu stoppen und das Fahrzeug passieren zu lassen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden lediglich die Engstellendaten verwendet, insgesamt wurden sechs Engstellendrehbücher genutzt. Durch die Drehbücher ist sichergestellt, dass sowohl Trajektorien mit offensivem wie auch solche mit defensivem Fahrverhalten in den Daten vorhanden sind. In der Studie fuhren die Probanden nach einer Eingewöhnungsphase jedes Drehbuch einmal durch. Nach jeder Durchfahrt hielten die Probanden an, um einen Fragebogen zu beantworten, der unter anderem ihre Verhaltensintention unmittelbar vor dem Szenario abfragte. Die Intention wurde auf einer siebenstufigen Skala von unbedingt als *Erstes fahren* bis *keinesfalls als Erstes fahren* bewertet. Für diese Arbeit wurden die Durchfahrten, bei denen eine der drei offensiven Antwortmöglichkeiten gegeben wurde, der Klasse *will fahren* zugeordnet, die Durchfahrten mit einer der drei defensiven Einschätzungen wurden der Klasse *will halten* zugewiesen. Durchfahren mit neutraler Intention wurden nicht berücksichtigt. Dieses Vorgehen ermöglicht einen direkten Vergleich mit dem tatsächlich gezeigten Verhalten. Insgesamt nahmen 31 Probanden an der Studie teil, 162 Fahrten durch ein Engstellenszenario wurden bei der Untersuchung berücksichtigt. Zusätzlich wurden die Trajektorien der Drehbuchdurchfahrten aufgezeichnet, auf dieser Basis wurde das im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Aggressivitätsmaß berechnet. Für die Intentionsprädiktion wurden Klassifikatoren (jeweils mit zehnfacher Kreuzvalidierung) mit dem Aggressivitätsmaß als Eingangsgröße trainiert, um die Intention des Probanden zu prädictieren. Zur Klassifikation wurden sowohl *Support Vector Machines* als auch *Random Forests* verwendet, als Label diente einerseits die abgefragte Intention und

andererseits das tatsächlich gezeigte Verhalten. Schließlich wurde bei den Untersuchungen noch dahingehend unterschieden, ob das Aggressivitätsmaß beider Fahrzeuge für die Prädiktion verwendet wurde oder lediglich das des Probanden. Die erreichten Genauigkeiten der jeweils trainierten Klassifikatoren sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Genauigkeit der Intentionsprädiktion auf Basis der Fuzzy-Inferenz

Algorithmus	Intention	Verhalten
RF (Ego-Fahrzeug)	0,66	0,73
SVM (Ego-Fahrzeug)	0,64	0,67
RF (Ego- und Kooperationsfahrzeug)	0,86	0,93
SVM (Ego- und Kooperationsfahrzeug)	0,87	0,95

Es zeigt sich, dass die erreichte Genauigkeit bei der Verwendung beider Aggressivitätsmaße deutlich über derjenigen liegt, die bei alleiniger Betrachtung des Probanden erreicht werden kann. Das Verhalten kann mit dem vorgestellten Verfahren besser als die Intention vorhergesagt werden. Die Genauigkeiten der beiden Klassifikatoren liegen in derselben Größenordnung, bei der Betrachtung beider Fahrzeuge sind die *Support Vector Machines* den *Random Forests* überlegen, wird lediglich das Aktivitätsmaß des Probanden verwendet zeigt sich das umgekehrte Bild.

AUSBLICK

Die Genauigkeit der Intentionsprädiktion auf der Basis der Fuzzy-Inferenz ist, insbesondere bei ausschließlicher Betrachtung des Ego-Fahrzeugs, relativ gering und in einem darauf aufbauenden Entscheidungsfindungsalgorithmus müsste ein entsprechend hoher Aufwand getrieben werden, jedoch ist die Fuzzy-Inferenz mit geringem Aufwand zu berechnen und bietet sich damit als zusätzliche Informationsquelle für die Entscheidungsfindung in derartigen Situationen an. Die Intentionsprädiktion kann mit der Verwendung komplexerer Trajektorieneigenschaften und unter Berücksichtigung der sequentiellen Informationen in den Messwerten weiter verbessert werden.

LITERATUR

Aljaafreh, A., Alshabat, N., Al-Din, M. S. N. (2012). Driving style recognition using fuzzy logic. *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*, Istanbul, Turkey, July 24-27, pp. 460–463.

Argyle, M., Schmidt, C. (2005). *Körpersprache & Kommunikation: Das Handbuch zur nonverbalen Kommunikation* (9. Aufl.). Paderborn: Junfermann.

Ba, Y., Zhang, W., Reimer, B., Yang, Y., Salvendy, G. (2015). The effect of communicational signals on drivers' subjective appraisal and visual attention during interactive driving scenarios. *Behaviour & Information Technology*, 34, 1107-1118. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2015.1056547>.

Beggiato, M., Witzlack, C., Springer, S., Krems, J. F. (2017). The Right Moment for Braking as Informal Communication Signal between Automated Vehicles and Pedestrians in Crossing Situations. In N. A. Stanton (Ed.), *Advances in Human As-*

pects of Transportation. Proceedings of the AHFE 2017 Conference on Human Factors in Transportation, July 17-21, 2017, Los Angeles, California, USA (pp. 1072-1081). Springer Verlag. https://doi:10.1007/978-3-319-60441-1_101.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning* 45(1), 5–32.

Björklund, G., Åberg, L. (2005). Driver behaviour in intersections: Formal and informal traffic rules. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8, 239-253. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.006>.

Constantinescu, Z., Marinoiu, C., Vladoiu, M. (2010). Driving style analysis using data mining techniques. *International Journal of Computers, Communications & Control* 5(5), 654–663.

de Ceunynck, T., Polders, E., Daniels, S., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G. (2013). Road Safety Differences Between Priority-Controlled Intersections and Right-Hand Priority Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2365, 39-48. <https://doi.org/10.3141/2365-06>.

Färber, B. (2015). *Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern*. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 128-146). Berlin: Springer Vieweg.

Gasser, T. M. (2015). Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 543-574). Berlin: Springer Vieweg.

Imbsweiler, J., Ruesch, M., Palyafári, R., Deml, B., Puente León, F. (2016). Entwicklung einer Beobachtungsmethode von Verhaltensströmen in kooperativen Situationen im innerstädtischen Verkehr. In 32. *VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren, Wolfsburg, 8-9 November 2016*.

Imbsweiler, J., Palyafári, R., Puente León, F., Deml, B. (2017). Untersuchung des Entscheidungsverhaltens in kooperativen Verkehrssituationen am Beispiel einer Engstelle. *at – Automatisierungstechnik*, 65, 477-488. <https://doi.org/10.1515/auto-2016-0127>

Imbsweiler, J., Ruesch, M., Heine, T., Linstedt, K., Weinreuter, H., Puente León, F., Deml, B. (2018). Die Rolle der expliziten Kommunikation im Straßenverkehr. In M. Jäger (Hrsg.), *Arbeit(s).Wissen.Schaf(f)t – Grundlagen für Management & Kompetenzentwicklung. Tagungsband 64. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*. Dortmund: GFA Press.

James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. (2013). An introduction to statistical learning. Berlin: Springer.

Janssen, W. H., van der Horst A. R., Bakker, P., Broeke, W. T. (1988). Auto-auto and auto-bicycle interactions in priority situations. In T. Rothengatter (ed.), *Road user behaviour* (p. 639-644). Assen: van Gorcum.

Johanning, V., Mildner, R. (2015). *Car IT kompakt: Das Auto der Zukunft – vernetzt und autonom fahren*. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Kauffmann, N., Raeth, E., Winkler, F., Vollrath, M. (2017). Entwicklung einer kooperativen Bremsstrategie als Reaktion auf Einscherer im dichten Verkehr auf der Autobahn. 9. VDI Tagung Der Fahrer im 21. Jahrhundert, (S. 1-14). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.

Kitazaki, S., Mhyre, N. J. (2015). Effects of Non-verbal communication cues on decisions and confidence of drivers at an uncontrolled intersection. Proceedings of the 8th Int. Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Salt Lake City, Utah, June 22-25, pp. 113-119.

Lee, Y. M., Sheppard, E. (2016). The effect of motion and signalling on drivers' ability to predict intentions of other road users. *Accident, analysis and prevention*, 95, 202-208. <https://10.1016/j.aap.2016.07.011>.

Merten, K. (1977a). Kommunikation: Eine Begriffs- und Prozeßanalyse (Bd. 35). Opladen: Westdeutscher Verlag.

Merten, K. (1977b). Kommunikationsprozess im Straßenverkehr. Klassifikation und Beurteilung von Verkehrssituationen. *Unfall- und Sicherheitsforschung*, 115-126.

Murphey, Y. L., Milton, R., Kiliaris, L. (2009). Driver's style classification using jerk analysis, *IEEE Workshop on Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems, Nashville, Tennessee, March 30 – April 2*, pp. 23–28.

Naumann, M., Stiller, C. (2017). Towards Cooperative Motion Planning for Automated Vehicles in Mixed Traffic. *IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems Workshops, Vancouver, Canada, September 24-28*, arXiv preprint arXiv:1708.06962, 2017.

Phillips, D. J., Wheeler, T. A., Kochenderfer, M. J. (2017). Generalizable intention prediction of human drivers at intersections. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Redondo Beach, CA, June 11-14*, pp.1665–1670.

Rasouli, A., Kotseruba, I., Tsotsos, J. K. (2018). Understanding Pedestrian Behavior in Complex Traffic Scenes. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 3, 61-70. <https://10.1109/TIV.2017.2788193>.

Renge, K. (2000). Effect of driving experience on drivers' decoding process of roadway interpersonal communication. *Ergonomics*, 43, 27-39. <https://10.1080/001401300184648>.

Risser, R. (1985). Behavior in traffic conflict situations. *Accident, Analysis & Prevention*, 2, 179-197.

Risser, R. (1988). *Kommunikation und Kultur des Strassenverkehrs* (1. Aufl. Ausg.). Wien: Literas-Univ.-Verl.

Rumar, K. (1990). The basic drive error: late detection. *Ergonomics*, 36, 1281-1290. <https://10.1080/00140139008925332>

Schmidt, J., Klüver, C., Klüver, J. (2010). *Programmierung naturanaloger Verfahren*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

Witzlack, C., Beggiato, M., Krems, J. (2016). Interaktionssequenzen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern im Parkplatzszenario als Grundlage für kooperativ interagierende Automatisierung. In VDI (Hsrg.). *Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren. VDI-Berichte 2288* (S. 323-336). Düsseldorf: VDI-Verlag.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes 1835 „Kooperativ interagierende Automobile“ durchgeführt. Für die Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft möchten wir uns sehr herzlich bedanken.

GANZHEITLICHE BERÜCKSICHTIGUNG VON HUMAN FACTORS BEIM AUTOMATISIERTEN FAHREN

Peter Schöggel, Erik Bogner, Mario Oswald, Michael Stolz, Rainer Voegl

ZUSAMMENFASSUNG

Die Einführung von automatisierten Fahrfunktionen lässt eine deutliche Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr erwarten. Neben der effektiven Sicherheit ist es auch wichtig, subjektiv eine hohe empfundene Sicherheit zu vermitteln, damit sich die Fahrzeuginsassen wohl und sicher fühlen. Das automatisierte Fahren erlaubt ja viele neue Tätigkeiten im Fahrzeug, eine hohe subjektiv empfundene Sicherheit ist hier ein Muss.

Der Vortrag beschreibt die Human Factors bezüglich Vertrauen, Komfort, empfundener Sicherheit, die anhand von Befragungen ermittelt wurden. Die gefundenen Kriterien wurden in eine Methode zur objektiven Echtzeitberechnung der Human Factors integriert.

Damit ist es möglich, Fahrzeuganalysen in Echtzeit vorzunehmen und objektive Zielvorgaben für die Entwicklung durchzuführen.

Die Kopplung der Methode mit Echtzeitsimulation von Fahrzeug, Verkehr und Fahrfunktionen ermöglicht eine virtuelle Bewertung, Optimierung und Validierung von automatisierten Fahrfunktionen.

DIE ZUKUNFT DES AUTOMATISIERTEN FAHRENS

Connectivity, Automatisiertes Fahren, Shared Mobility und Elektrifizierung (CASE) sind die derzeitigen Entwicklungsschwerpunkte der Automobilindustrie. Diese vier unabhängig voneinander zu sehenden Trends werden in den nächsten Jahren Einzug finden. Automatisiertes Fahren wird heute verbreitet als Level 2 System angeboten. Der Fahrer wird hier sowohl in Längs- als auch in Querrichtung von Aktuatoren unterstützt, bleibt aber ständig verantwortlich für die Fahrt und für das Fahrzeug. Die Längsdynamikregelung des Level 2 Systems läuft bereits heute weitgehend automatisiert ab. Die Querdynamikregelung des Level 2 Systems dient aber lediglich zur Unterstützung des Menschen, die Hände dürfen nicht länger als 15 Sekunden vom Lenkrad genommen werden. Das maximale Lenkradmoment der Lenkunterstützung wird auf 3Nm limitiert, dadurch kann das System nur eine relativ geringe Querbewegung beherrschen. Bei Überschreitung dieser Querbewegung bricht das System die Unterstützung ab, das Fahrzeug muss vollständig vom Menschen weitergelenkt werden. Dies wird von vielen Kunden als störend empfunden. Die Längsregelung (ACC) ist bei heutigen Systemen bereits sehr ausgereift, markenspezifisch werden bewusst Eigenschaften in der Abstandsregelung, Anfahr- und Abbremsregelung ausgeführt. Störend empfunden werden lange Reaktionszeiten, etwa beim Notbremsassistent und extrem große Abstände, die das Einschneiden anderer Fahrzeuge (Cut In) provozieren.

Die Markteinführung von Level 3 Systemen ist für 2021 angekündigt. Level 3 wird die Längs- und Querregelung gewisser Funktionen, wie etwa Autobahnpilot oder Stauassistent bis zu einer definierten Geschwindigkeit unbegrenzt lange ausführen,

die Hände brauchen dann nicht mehr am Lenkrad sein. Allerdings muss der Fahrer bereit sein, innerhalb einer gewissen Zeit (etwa 10 Sekunden) die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen. Um die Bereitschaft des Fahrers zu überwachen, werden Kopf- und Augenüberwachungen eingesetzt. Wenn der Fahrer augenscheinlich nicht in der Lage ist, das Fahrzeug zu übernehmen, warnt das L3 System und bringt im Extremfall das Fahrzeug zum Stillstand. Durch diese Übernahmekontrolle kann der Fahrer sich nur bedingt auf andere Tätigkeiten konzentrieren (Arbeiten) und auf keinen Fall schlafen. Möglich sein wird allerdings Telefonieren und Schreiben von SMS und E-Mails.

Die Markteinführung von Level 4 Systemen ist nicht vor 2024 zu erwarten. Level 4 Systeme werden auf gewissen Strecken (z.B. Autobahn) unbegrenzt lange eigenständig fahren. Der Mensch wird bei L4 in der Lage sein, beliebige Tätigkeiten auszuüben, inklusive Schlafen, Essen, Arbeiten. Level 4 Systeme werden anfangs für Mobilitätsdienste eingesetzt werden, um Personen auf gewissen Strecken ohne Fahrer zu befördern. Unbemannte Taxis, sogenannte Robotaxis sind ebenfalls vor der Einführung in privaten Fahrzeugen zu erwarten. Level 4 Fahrzeuge werden von Zentralen überwacht werden, um bei Fehlfunktionen die nötigen Schritte einzuleiten. Zu klären ist noch die Haftungsfrage, der hohe Energiebedarf der Systeme und die hohen Systemkosten. Level 4 Systeme werden die Nutzung der Fahrzeuge deutlich erweitern, da die Fahrzeuge als Arbeitsplatz, Erholungsraum, Kino und Schlafzimmer genutzt werden können. Die Industrie wird dementsprechende Innenraumkonzepte anbieten.

Die Markteinführung von Level 5 Systemen kann derzeit nicht vorausgesagt werden. Level 5 Systeme sind in der Lage, unter allen Bedingungen autonom zu fahren. In der Stadt, auf der Autobahn und auf Freilandstraßen.

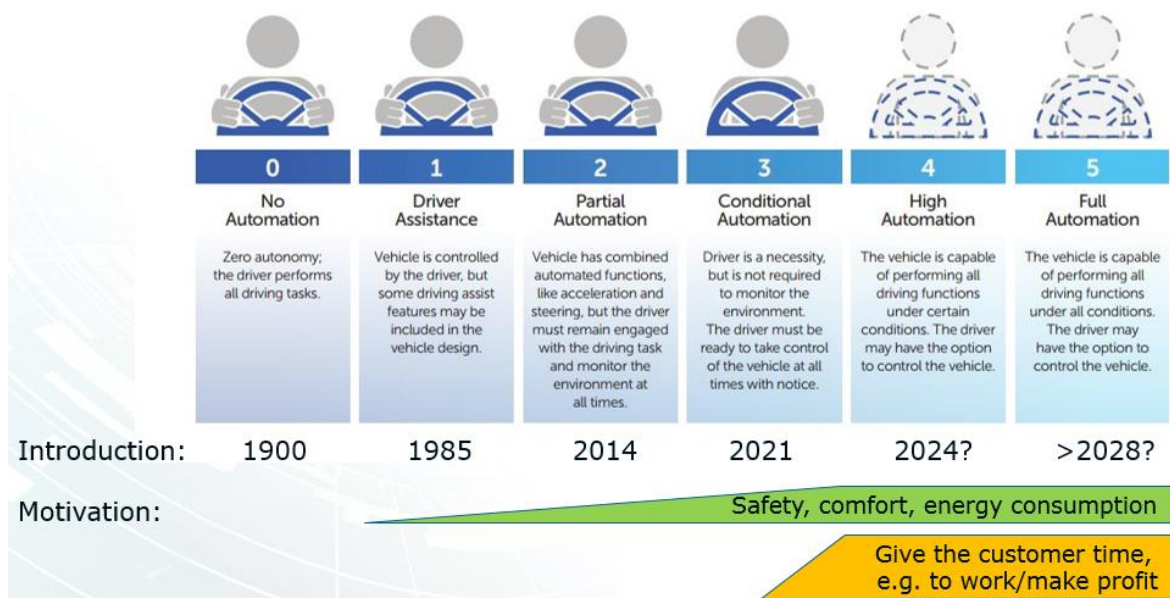


Bild 1: ADAS Trends, Quelle: SAE

HUMAN FACTORS BEIM AUTOMATISIERTEN FAHREN

Die 4 derzeitigen Trends Connectivity, Automatisiertes Fahren, Shared Mobility und Elektrifizierung (CASE) bringen neue Human Factors, die seitens der Entwicklung

berücksichtigt werden müssen. Seitens Elektrifizierung sind dies Faktoren wie Ladezeit und Reichweite, seitens automatisiertes Fahren bedeutet dies vor allem Sicherheit, gefühlte Sicherheit, einfache Bedienung, verständliches HMI, Systemverfügbarkeit und Komfort. Nur wenn die Fahrzeuge in den genannten Attributen eine ausreichende Qualität bieten, werden die Funktionen von den Kunden angenommen werden.

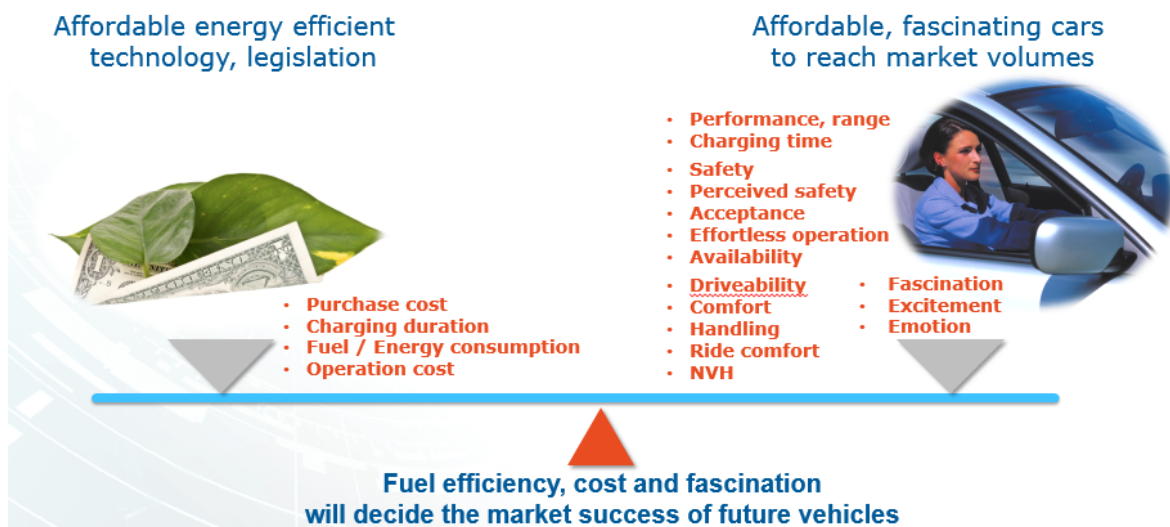


Bild 2: Human Factors

Nach wie vor stellen neben den Kosten und dem Verbrauch/Energiebedarf/Reichweite die Fahreigenschaften und das Fahrgefühl bei aktivem Fahren sehr wichtige kaufentscheidende und Marken prägende Fahrzeugattribute dar (Bild 2).

Zu dieser sehr breiten und hinlänglich bekannten Palette von kundenrelevanten Fahrzeug- und Fahreigenschaften beim aktiven Fahren zählen Bedienbarkeit, Haptik, Vorhersehbarkeit, Antriebs-Komfort und/oder Agilität, Sportlichkeit, Federungskomfort und/oder Fahrwerksagilität, Lenkgefühl, Lenkungsrückmeldung, Steuerverhalten, Traktionsverhalten, Sound- und Geräuscentfaltung, Sitzposition, Sitzkomfort, aktive Fahrsicherheit und viele andere mehr. Mit den Funktionen der Assistenzsysteme von Level 0 – 2 bis hin zum teil- und hochautomatisierten Fahren (> Level 2), kommt eine teilweise vollkommen neuartige Palette von assistierten oder automatisierten Fahreigenschaften und Kundenansprüchen dazu. Die Human Factors von L0-L2 Systemen unterscheiden sich deutlich von L3-L5 Systemen.

Bei L0 bewertet der Mensch lediglich die Reaktion des Fahrzeuges auf seine Aktionen. Diese Act-, Feel-, Hear-Funktionalität betrifft die Reaktionen des Powertrains und des Chassis, siehe Bild 3. Bei L1-L2 Systemen bleibt die Aktion des Fahrers als Inputgröße für das subjektive Empfinden relevant (wie reagiert mein Fahrzeug auf meine Aktionen), allerdings wirkt hier bereits der Einfluss der Umgebung auf das Fahrzeug. Ein Beispiel hierfür ist die Abstandsregelung der ACC Funktion.

Bei L3-L5 Systemen entfällt der Act-Teil in der Wirkkette, bzw. wirkt lediglich über die HMI Funktion. Der Mensch bewertet also nicht mehr die Act-Feel Kette, sondern nur mehr die Feel-, See-, Hear-Funktion als Reaktion auf die Fahrzeugumgebung. Diese Feel-, See-, Hear-Funktion wird dafür deutlich stärker wahrgenommen.

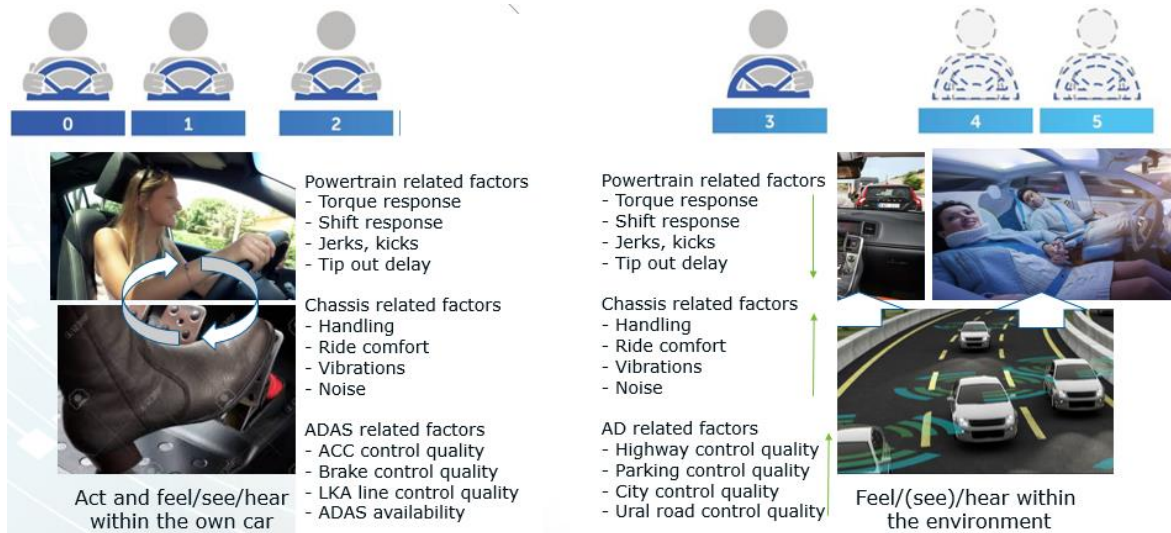


Bild 3: Human Factors beim Automatisierten Fahren

Die Herausforderung, Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren mit einer hohen Akzeptanz und Zufriedenheitsbeurteilung einer breiten Masse von Fahrzeugnutzern zu gestalten, erscheint, offenbar aufgrund der Übergabe der Fahrzeug-Führungsaufgaben vom Menschen an die Maschine („Human factors off“), ungleich höher als für die Fahreigenschaften beim aktiven Fahren. Die Fahrzeugnutzer müssen das gewohnte Vertrauen in den Fahrer oder in sich selbst als Fahrzeug-Systemvertrauen aufbauen, ein solches Vertrauen kann vor allem dann geschaffen werden, wenn das System gesamtheitlich einem idealen Chauffeur für alle denkbaren realen Szenarien gleichkommt.

OBJEKTIVIERUNG DER HUMAN FACTOREN BEIM AUTOMATISIERTEN FAHREN

AVL beschäftigt sich seit mehr als 20 Jahren mit der Entwicklung von Verfahren und Werkzeugen zur Erfassung und objektiven Beurteilung der Human Factors für Fahrgefühl. Im Zuge dessen wurden zahlreiche Fahrzustandserkennungen und Beurteilungsverfahren für die Attribute Driveability, Ride & Handling, Comfort und Dynamik sowie für die Qualität der Längs- und Querverführung beim teil- und hochautomatisierten Fahren entwickelt. All diese Verfahren sind in das Beurteilungswerkzeug AVL-DRIVE (Bild 4) integriert und durch Interfaces zu Simulationswerkzeugen im Fahrzeug, auf Prüfständen und in der Simulation einsetzbar.



AVL-DRIVE™ DRIVEABILITY



For the Objective Evaluation of Longitudinal Accelerations



AVL-DRIVE™ ADAS



For the Objective Evaluation of ADAS and AD Functions



AVL-DRIVE™ RIDE & HANDLING



For the Objective Evaluation of Vertical and Lateral Accelerations

Bild 4: AVL-DRIVE, objektive Beurteilung von Fahrattributen

Bild 5 zeigt den für die Bewertungsverfahren angewandten Objektivierungsprozess für automatisiertes Fahren. Die Umgebungserkennung erfolgt durch handelsübliche ADAS Sensoren, hauptsächlich Kameras, LIDAR und RADAR. Die Ankopplung sogenannter Ground Truth Systeme ist möglich. Nach der Sensor Fusion erfolgt eine Manövererkennung für Längs- und Querführungsfunktionen. Jedes Manöver wird durch charakteristische physikalische Größen beschrieben. Aus einer Gruppe von physikalischen Parametern erfolgen Berechnungen von objektiven Qualitätsnoten für vorab definierte Bewertungskriterien, die aus subjektiven Bewertungen abgeleitet werden.

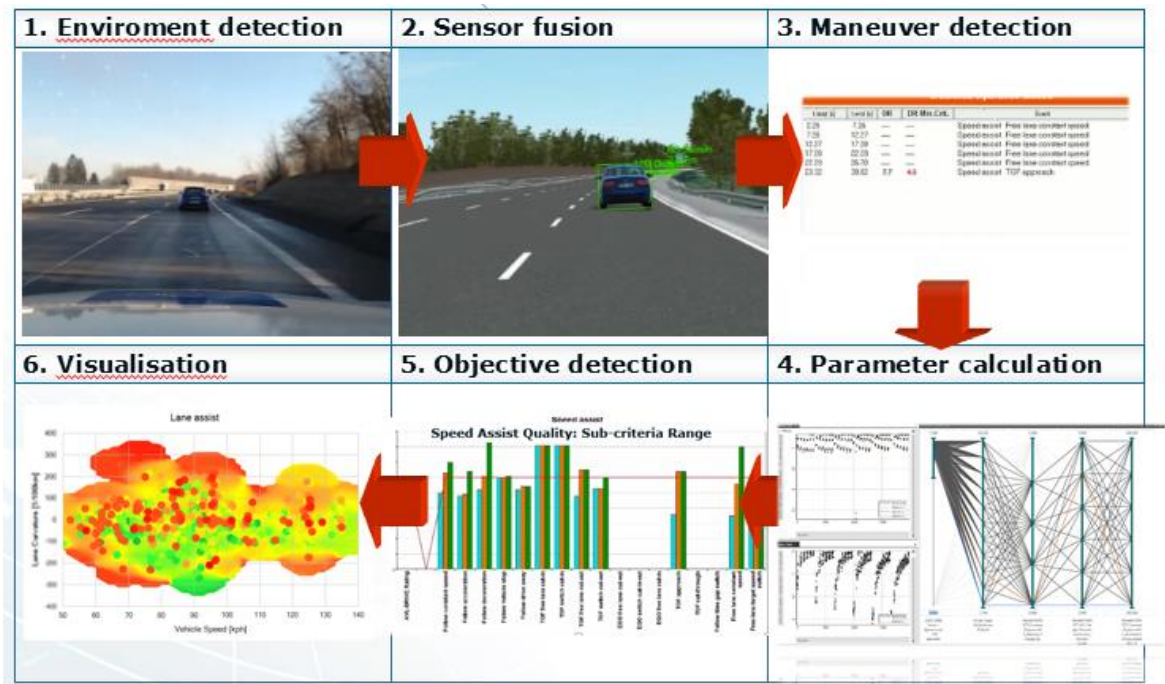


Bild 5: Objektivierung der Human Factors beim automatisieren Fahren

Bild 6 zeigt das Ergebnis zu Subjektiveindrücken beim Fahren mit ACC aus einer Befragung von etwa 100 Probanden. Die am wichtigsten genannten Kriterien sind Bremsverhalten und Safety. Die gezeigte Untersuchung wurde sowohl vom Fahrersitz, als auch vom Beifahrersitz durchgeführt. Deutlich zu erkennen ist die unterschiedliche Bewertung von Zuverlässigkeit und Safety. Diese sicherheitsrelevanten Kriterien wurden vom Fahrersitz deutlich öfter genannt als vom Beifahrersitz.

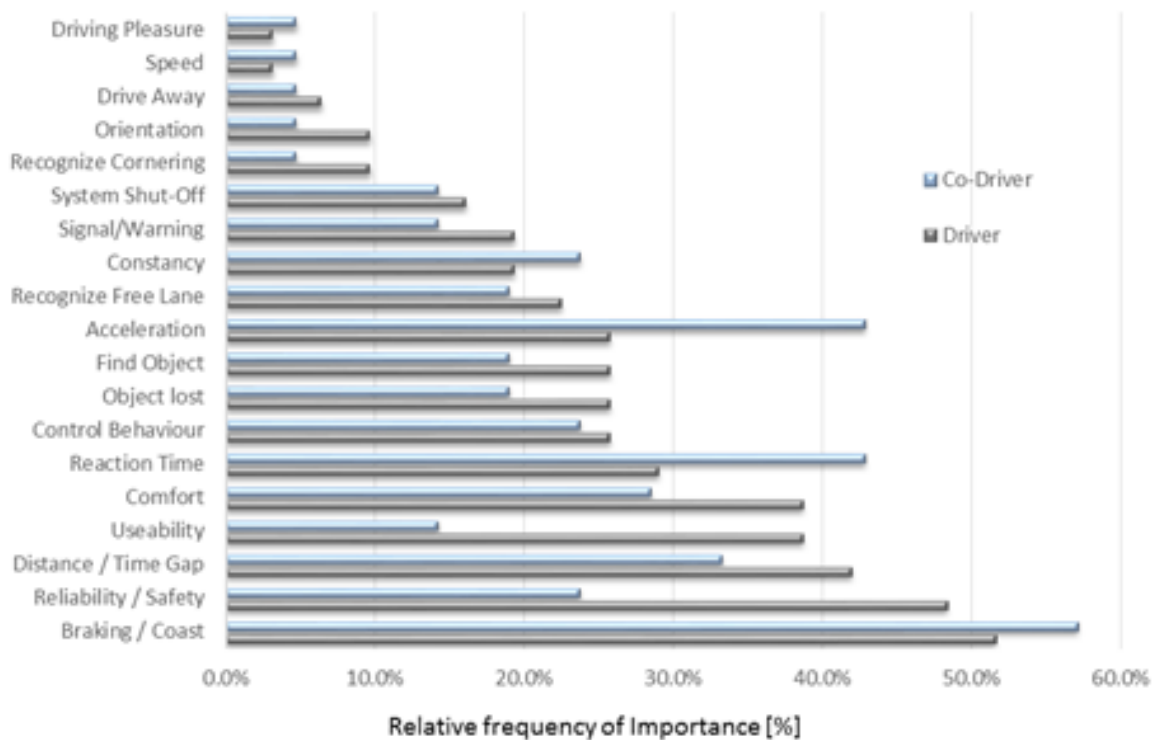


Bild 6: Wichtigkeit von Human Factors am Beispiel Probandenbefragung für ACC

Ganz wesentliche Faktoren für den Vertrauensaufbau der Konsumenten in die Fahrzeugführung von Fahrerassistenten und automatisiertes Fahren sind demnach das Sicherheitsempfinden, der Komfort, eine Vorhersehbarkeit, eine Berechenbarkeit, eine Gleichmäßigkeit und darüber hinaus auch eine Schnelligkeit durch zufriedenstellende Response-Zeiten in entsprechenden Fahrsituationen, wie zum Beispiel die Dauer bis zum Beschleunigungsbeginn nach dem Ausscheren eines langsamen Vorfahrzeuges oder einem automatischen Spurwechsel bei Überholwunsch.

Nutzerbefragungen, wissenschaftliche Untersuchungen und AVL-DRIVE Benchmark Ergebnisse für am Markt verfügbare automatisierte Level 1, 2 Längs- und Querführungssysteme (Bild 7) zeigen, dass ACC Längsregelsysteme nach über 20 Jahren am Markt eine durchwegs gute Kundenakzeptanz und Nutzerfrequenz infolge hoher Qualität und weniger Fehleranfälligkeit erreicht haben. Querregelsysteme oder Assistenzen wie LKA, LA werden hingegen oftmals eher kritisch bewertet, weil in vielen realen Fahrsituationen Irritationen für den Fahrzeugnutzer auftreten. LKA Systeme werden deshalb heute auch noch relativ oft deaktiviert, wodurch sich der erwartete Sicherheitsgewinn natürlich nicht einstellt.

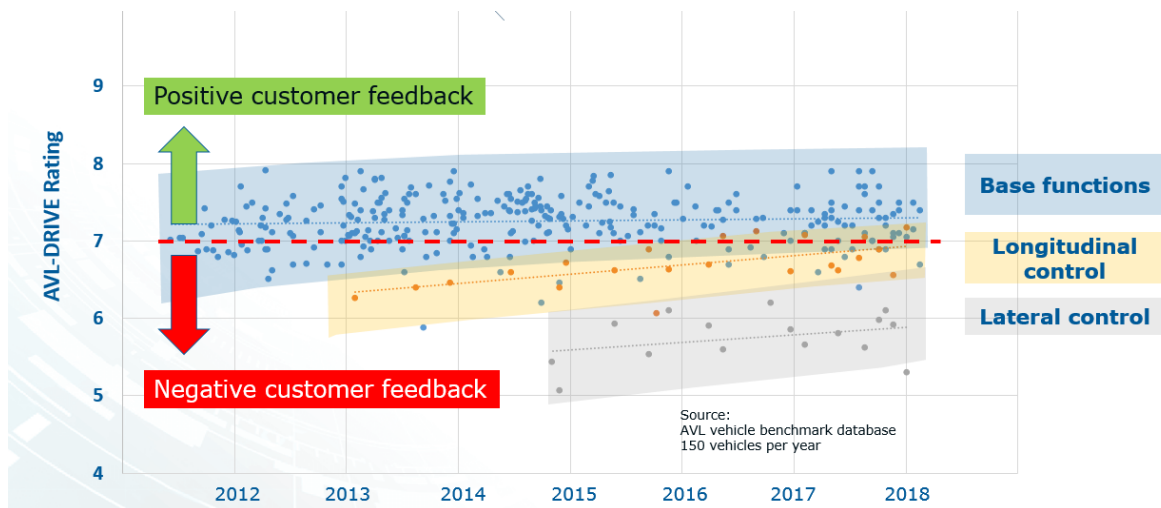


Bild 7: AVL-DRIVE System Benchmark Bewertungen für ACC und LKA

Solche Irritationen, die von Probanden nachweislich und messbar als Stresssituationen empfunden werden, sind beispielsweise plötzliche Systemabwürfe ohne signifikante Vorankündigung, irritierende Positionierung oder Kurswahl der Querregelung innerhalb der Fahrspur, eckende Lenkmanöver oder stark variierende Lenkmomente bei LKA Systemen (LKAS), sowie stark variierende Geschwindigkeitsregelung bei Kurvenfahrt. Bild 8 zeigt den subjektiv wahrgenommenen, objektiv gemessenen Stress anhand von Hautleitfähigkeit EDA Spitzenwerten bei Autobahnfahrten mit LKAS mit unterschiedlichen Systemeinstellungen, sowie ohne LKAS [1].

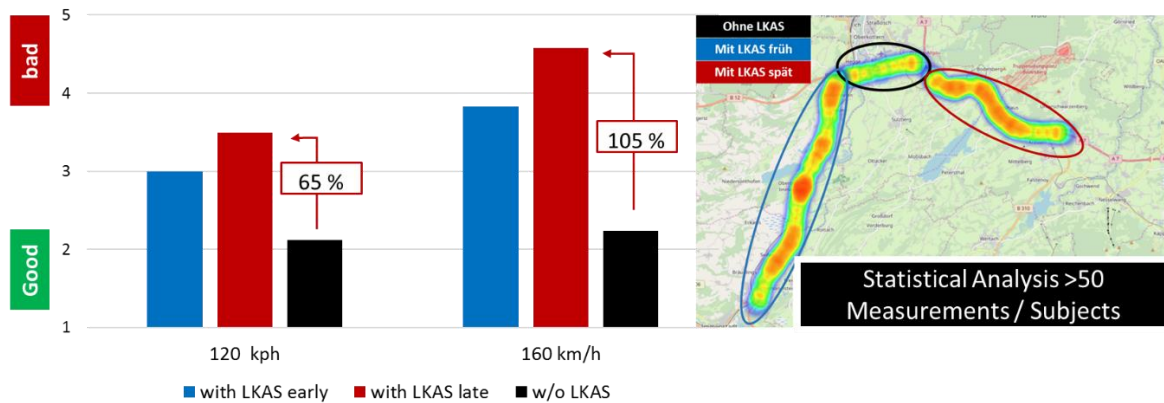


Bild 8: Subjektiv wahrgenommener und objektiver Stress [3]

Eine derzeit noch nicht allzu hohe Kundenakzeptanz bei Nutzung von LKAS im täglichen Straßenverkehr zeigt sich auch in den Ergebnissen von Expertentests, durchgeführt von wissenschaftlichen Institutionen, wie der Hochschule Kempten.

Bild 9 zeigt die Ergebnisse aus einer Befragung von Testpersonen zum empfundenen Reifegrad von Level 2 LKAS in 3 unterschiedlichen Serienfahrzeugen, dabei wird ein Reifegrad von 75 % als Grenze für eine gute Kundenakzeptanz der betreffenden Funktionen definiert. Die Bewertungen aller 3 Fahrzeuge lagen deutlich unter der 75 % Schwelle, zumal auch die Erwartung der Testpersonen mit einer Erhöhung der Fahrsicherheit einhergeht, die aber in der subjektiven Wahrnehmung als nicht gegeben erscheint. Das Fahrzeug mit einem Headup-Display, das über den aktuellen Status des LKAS informierte, wurde am höchsten bewertet. Dies zeigt auch die große Bedeutung von HMI als Kommunikation der Fahrerassistenzsysteme oder automatisierten Fahrfunktionen hin zum Fahrzeug Passagier.

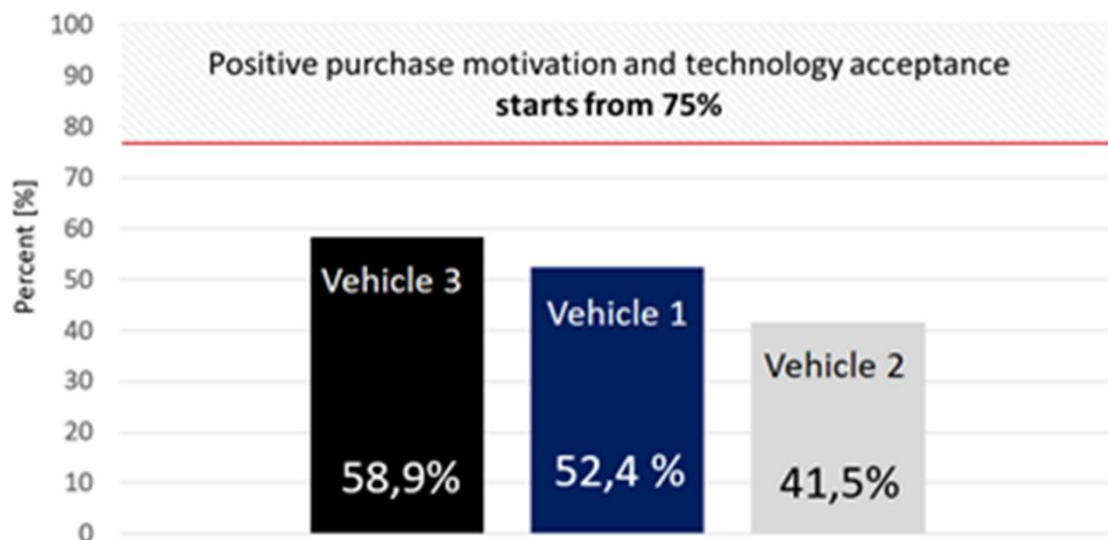


Bild 9: Reifegradbewertung von LKAS durch Testpersonen in 3 verschiedenen Fahrzeugen [3]

Sämtliche Ergebnisse aus Probandenstudien und Systemtests verfügbarer Level 2 Systeme und Level 3 Prototypen flossen und fließen laufend in die Entwicklung von

objektiven Bewertungsalgorithmen in AVL-DRIVE ADAS ein. Hierbei werden sämtliche, für den Menschen auflösbare Einzelkriterien, wie z.B. die Abstände zu den Fahrspur-Randlinien, Querbewegungsverhalten, Lenkwinkeländerungen, Abstand zu anderen Fahrzeugen, der Gierwinkel in der Fahrspur, Gier- und Querbewegungsunruhe oder auch die TTC (Time to Collision) für vorab definierte Fahrsituationen physikalisch erfasst und objektiv mit einer an die VDI Skala angepassten Bewertung von 1 – 10 beurteilt.

ADAS HUMAN FACTOREN SYSTEMTESTS BEIM AUTOMATISIERTEN FAHREN

Zur objektiven Beurteilung und Messung der automatisierten Fahrfunktionen unterzieht AVL Fahrzeuge mit ADAS Systemen einem vordefinierten Messprogramm. Hierbei werden Längs- und Querregelgüte, sowie Spurwechsel in separaten Tests gemessen und automatisch durch AVL-DRIVE ADAS physikalisch analysiert und bewertet. Bild 10 zeigt die Manöverliste für die Längsregelung sowie die gewählten Straßenabschnitte zur Beurteilung der Quer- bzw. kombinierten Quer- und Längsregelung.

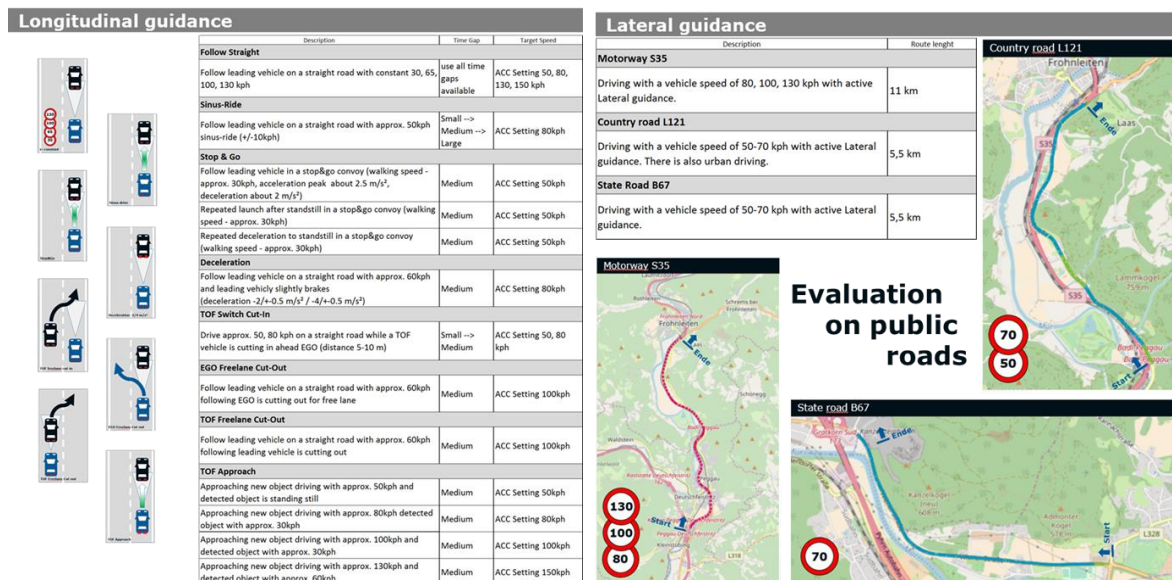


Bild 10: AVL Manöver und Strecken zur Analyse von automatisierten Fahrfunktionen

Auch der Geschwindigkeitsverlauf beim Durchfahren von Kurven hat einen hohen Einfluss auf das Sicherheits- und Komfortempfinden. Probandenbefragungen zeigen, dass geringe Reduktionen der Geschwindigkeit im Bereich von 1-3 km/h am Anfang der Kurve als angenehm empfunden werden, da sie das Sicherheitsempfinden steigern. Das System teilt indirekt mit, dass die Kurve erkannt wurde. Konstante Geschwindigkeiten bei Kurvenfahrt fühlen sich hingegen durch die kombinierte Querbewegung eher nach Beschleunigen an, zumal der Fahrwiderstand bei Kurvenfahrt zunimmt. Eine zu starke Reduktion der Geschwindigkeit, sowie eine ungleichmäßige Regelung der Geschwindigkeitsänderung, wird in jedem Fall als wenig souverän und wenig vertrauenswürdig und sicher bewertet.

Bild 11 zeigt die Messsignale Fahrzeuggeschwindigkeit, Querbeschleunigung und Längsbeschleunigung, sowie die Fahrspurerkennung und die Trajektorie der zusätzlich installierten Umgebungssensorik für 3 Serienfahrzeuge der Luxusklasse beim Befahren der kurvigen Schnellstraße (S35) im steirischen Autobahnnetz mit aktiven ACC und LKA. Der Abschnitt wird im gezeigten Beispiel mit der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h als Zielgeschwindigkeit befahren. Die Kurvenradien auf diesem Streckenabschnitt liegen bei 550 – 600 m. Für 130 km/h wirken daher Querbeschleunigungen von rund 2 m/s² und leicht darüber. Alle 3 Fahrzeuge wurden mit einem äußerst passiven Lenkinput, ähnlich einer Hands-off Fahrweise gefahren. Das Fahrzeug C wird hierbei am besten beurteilt, das Fahrzeug B am geringsten. Dies ist einerseits der hohen lateralen Unruhe, sowie der ebenfalls eher ungleichmäßigen und signifikanten Geschwindigkeitsvariation von Fahrzeug B geschuldet, das Fahrzeug B wirkt in Summe unsicher, wenig Systemvertrauen entsteht. Fahrzeug C durchfährt die Kurven weitgehend mit konstanter Geschwindigkeit, mit deutlich geringerer Querregelungsunruhe und guter Fahrspurzentrierung, fühlt sich somit in diesem Vergleich am besten an. Fahrzeug A fährt mit einer ähnlichen Geschwindigkeitswahl wie Fahrzeug C, allerdings mit einer teilweise deutlich geringer bewerteten Positionierung des Fahrzeuges hin zu den Randlinien und einer höheren Querführungsunruhe.

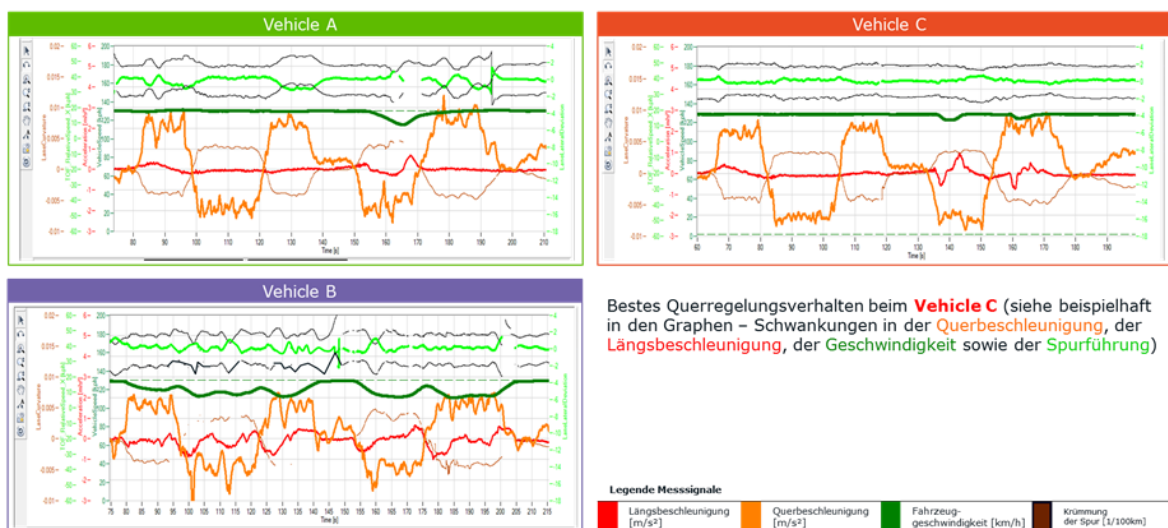


Bild 11: Messsignale v, AY, AX von 3 Serienfahrzeugen mit ACC, LKA aktiv

Bild 12 zeigt die entsprechenden Bewertungen der Querregelungsgüte in AVL-DRIVE ADAS, beim Befahren derselben Strecke mit geringeren Zielgeschwindigkeiten wurden alle 3 LKAS in den Fahrzeugen sehr ähnlich auf deutlich höheren Niveau beurteilt.





Bild 12: AVL-DRIVE ADAS Bewertung des LKAS Verhaltens

Bild 13 zeigt die Bewertung der Querführungsqualität als Kombination aus Fahrzeugposition in der Spur, dem Gierwinkel in der Spur, sowie des momentanen Geschwindigkeitsvektors und den Abständen zu den Randlinien in einer Autobahnkurve mit rund 570 m Radius. Es zeigt sich, dass der aktive Spurassistent eine einem eher ungeübten Fahrer entsprechende, unruhige Fahrlinienwahl innerhalb der Fahrspur trifft und keine eindeutige Positionierung des Fahrzeuges, mit einem Trend zum Kurven-Innenradius der Fahrspur, einnimmt.

Dieses Verhalten ist für das exemplarisch gezeigte Verhalten auch der in diesem Fahrzeug für Level 2 Systeme verfügbaren Sensorik für die Umgebungs- und Objekterkennung geschuldet, denn eine gleichmäßige, sicher empfundene Linienwahl in langgezogenen Autobahnkurven verlangt mitunter eine sehr weite Vorausschau oder bessere Streckenkenntnis durch die Verwendung von hochgenauen Strecken- und Positionskenntnissen.



Bild 13: AVL-DRIVE ADAS Bewertung für die Fahrzeug-Positionierung in der Fahrspur

ADAS HUMAN FACTORS ZIELWERTE DEFINITION

Auf der Basis der zuvor gezeigten, vorab definierten physikalischen Werte für die objektive Bewertung des Subjektivempfindens von teil- und hochautomatisierten Fahrsituationen, lassen sich für sämtlich definierte Manöver und Kriterien Zielwerte für das gewünschte und in der Systementwicklung erreichbare Fahr- und Regelverhalten definieren.

Zur Definition der Zielwerte des lateralen Fahrverhaltens ist die Unterscheidung der Automatisierungs-Levels unumgänglich. Bei Level 1 und 2 Systemen ist der aktive Fahrer mit der Wahl der Spurführung betraut. Hierbei sollte die Linienwahl innerhalb des Fahrstreifens möglich ungestört bleiben und das LKA System erst spät nahe an den Seitenstreifen aktiv Momente aufbauen. Damit wird vermieden, dass dem Fahrer störende Lenkeingriffe und Momente seiner aktiven Lenkweise entgegenwirken. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, sind für dieses System die Distanzen zu den Fahrlinien die entsprechenden, hauptbeeinflussenden Kriterien. Abhängig von der gewünschten markenspezifischen Ausprägung, können unterschiedliche Abstände als Zielwerte definiert werden. Wie in Bild 14 dargestellt, sollen Level 3 Systeme hingegen eine präzise laterale Regelgüte in der gewählten Ideallinie innerhalb der Fahrspur aufweisen. Eine Möglichkeit, die Kurvengeschwindigkeit, bei gleichbleibender lateraler Beschleunigung zu erhöhen, ist eine Linienwahl, die den gefahrenen Kurvenradius vergrößert. Einerseits kann damit die Geschwindigkeit erhöht oder dementsprechend die Querbeschleunigung reduziert werden. Dieser Effekt kann durch eine ideale Linienwahl außen bereits am Kurveneingang weiter verbessert werden. Jedoch ist es hierbei extrem wichtig, die Fahrzeugumgebung zu beobachten. Bei einem anderen Fahrzeug auf der Nebenspur darf diese Prozedur nicht angewendet werden, da es sonst vom Menschen extrem unsicher empfunden wird. Die Beobachtung der Umgebung bedarf natürlich einer entsprechenden Umgebungs-Sensorik und Positionskenntnis.

Hinsichtlich Kurvenverhalten gilt es einen möglichst konstanten Lenkwinkel zu halten, um Querbeschleunigungsschwankungen, aufgrund des Lenkreglers, zu minimieren. Diese Schwankungen wirken sehr unangenehm auf das subjektive Empfinden der Passagiere.

Lateral target criteria	Level 1+2	Level 3+4	Level 4+
In lane trajectory	wide	center lane	curve cutting
Lateral deviation [m]	$\pm 0,8$	$\pm 0,25$	not relevant
Lateral oscilation	not relevant	min	min
Max lateral acceleration [m/s^2]	3 - 4	2.5	2.5
Longitudinal velocity	↑	→	↗

Tabelle 1: Zielwerte für das laterale Regelverhalten in Abhängigkeit der Automatisierungs-Levels

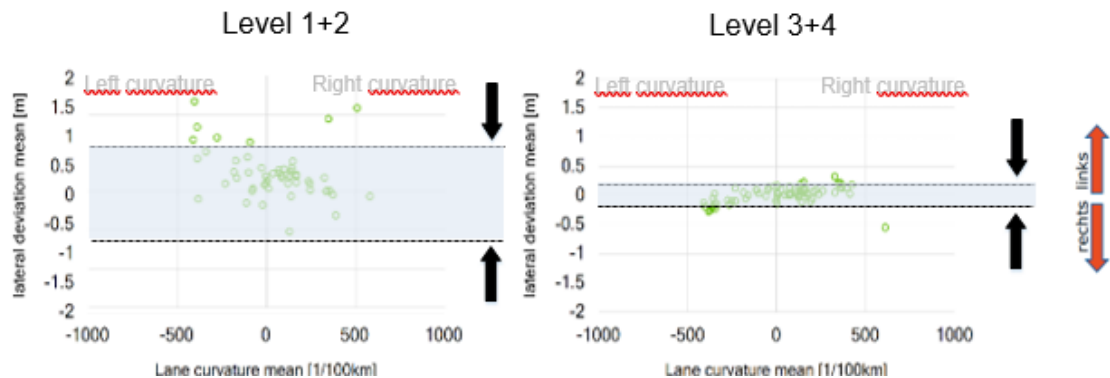


Bild 14: Zielwert für laterale Abweichung zur Fahrbahnmitte über unterschiedliche Kurvenkrümmungen

SUMULATION UND VIRTUELLE BEWERTUNG DER HUMAN FACTORS

Für die virtuelle Entwicklung und Optimierung der ADAS/AD Systeme in Bezug auf Human Factors (Vertrauen, Komfort, empfundene Sicherheit), bedarf es einer umfangreichen Simulationsumgebung. Diese wird durch folgende Hauptbestandteile definiert:

- Umgebungsmodell einschließlich Verkehr & Szenarien
- Fahrzeug + Sensorik
- Fahrfunktionen

Erst die Kopplung der Simulation hinsichtlich Fahrzeug (+Sensorik), Umgebung und Fahrfunktionen ermöglicht eine präzise virtuelle Bewertung – und damit eine Optimierung und Validierung von teil- und vollautomatisierten Fahrfunktionen.

Dabei spielt gerade das Fahrzeugmodell eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Vorhersehbarkeit und Berechnung des menschlichen Fahrempfindens. Im Wesentlichen agiert das Fahrzeug im Gesamtregelkreis des automatisierten Fahrens als nichtlineares dynamisches System mit einer Vielzahl von Massen, Massenträgheitsmomenten, Steifigkeiten, Dämpfungen sowie Nichtlinearitäten. Diese Einflussfaktoren sind beim Fahren genau jene Größen, welche das Fahrempfinden prägen. Eine physikalisch-richtige Abbildung dieser Zusammenhänge ist die Grundlage um in einer virtuellen Umgebung nicht nur starre systematische Zusammenhänge abbilden zu können (z.B: Objekterkennung in diversen Szenarien), sondern auch als menschliche Empfinden hinsichtlich Vertrauen und Komfort vorhersagen zu können. Bild 15 zeigt die Prozessschritte der virtuellen Bewertung von Human Factors.

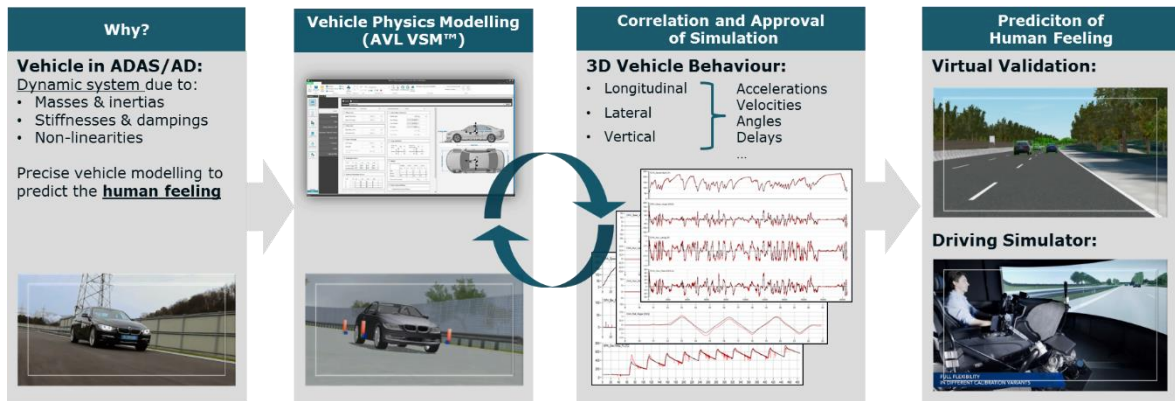


Bild 15: Prozessschritte zur virtuellen Bewertung von Human Factors

Die Fahrzeug Simulation läuft als Co-Simulation zur Szenarien- und Umgebungssimulation. Aus der Umgebungssimulation werden die analogen Objektlisten und virtuellen Messsignale generiert, die ansonsten die Fahrer Assistenzsysteme im Fahrzeug empfangen. Mit einer solchen Konfiguration können reale Manöver in der Simulation nachgestellt, sowie mehrfach variiert werden. Aus der Co-Simulation von Fahrzeug, Fahrsituationen und Umgebungsdaten lassen sich auch die objektiven Bewertungsverfahren, die AVL in AVL-DRIVE ADAS eingebunden hat, berechnen, somit können die objektiv beurteilten Human Factors auch in der Simulationsumgebung für die Qualitätsbeurteilung der automatisierten Fahrfunktionen herangezogen werden.

Bild 16 zeigt Bewertungsergebnisse und Signalverläufe aus Messung und Simulation für ein ACC Manöver. Das EGO-Fahrzeug verzögert auf ein Vorfahrzeug, dieses Manöver wird TOF Approach genannt (Target Object Front Approach).



Bild 16: Vergleich von Simulation und Straßentest am Beispiel Perceived Safety und Comfort

Die angesprochene Co-Simulation mit systematischen Cloud Computing, ermöglicht im Zusammenwirken mit Manöverbibliotheken, vordefinierten Qualitätszielen von Human Factors sowie Funktionszielwerten für Validierung sowohl eine virtuelle Optimierungen als auch eine virtuelle Validierung.

Bild 17 zeigt den systematischen Aufbau der virtuellen Entwicklungsumgebung.

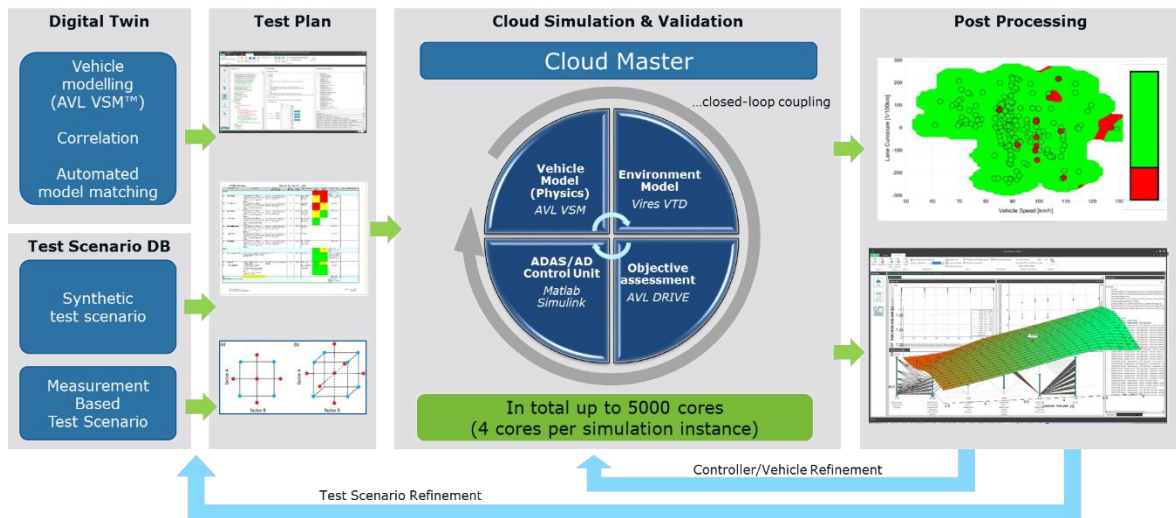


Bild 17: Systemaufbau für virtuelle Qualitätsbewertung und Validierung

EINSATZ DER OBJEKTIVEN BEWERTUNG IM ADAS ENTWICKLUNGSPROZESS

Die Notwendigkeit der Einbindung der Verkehrsumgebung in das ADAS System findet sich auch im Entwicklungsprozess wieder. Die große Zahl möglicher Verkehrssituationen führen zu einem extrem hohen Test- und Validierungsaufwand, zu einer sehr hohen Zahl von Use- und Test Cases, die bei der Systemdefinition, beim Testen und beim Validierung berücksichtigt werden müssen. Dadurch ergeben sich sehr Unterschiede beim Thema Testen und Validierung. Bild 18 zeigt den ADAS Entwicklungsplan mit einer durchgängigen objektiven Qualitätsbewertung und einer durchgängigen Simulation.

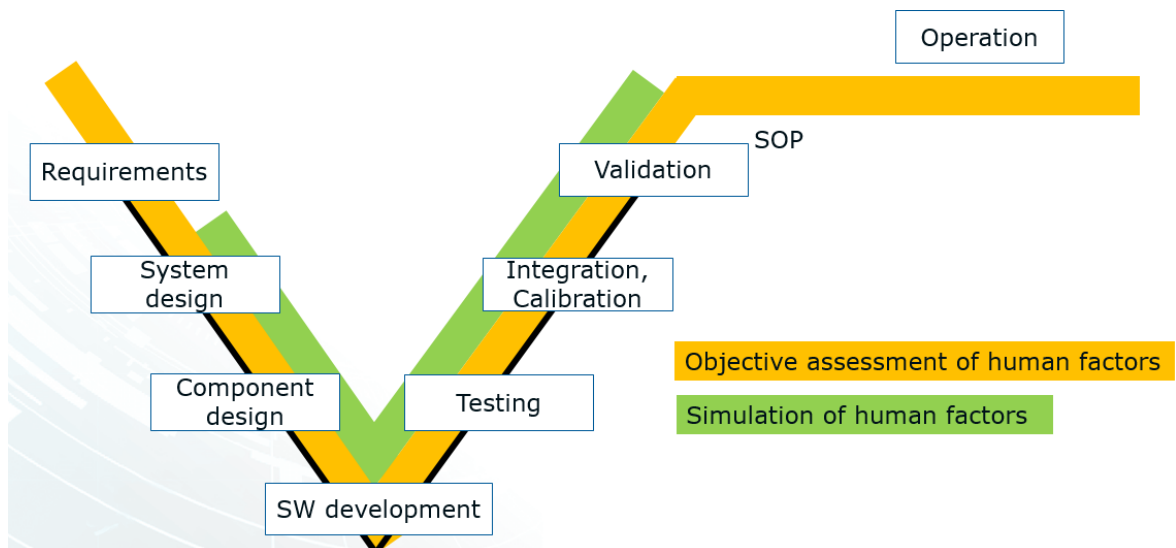


Bild 18: ADAS Entwicklungsprozess mit durchgängiger Berücksichtigung von Human Factors

Bild 18 zeigt den ADAS Entwicklungsplan mit einer durchgängigen objektiven Qualitätsbewertung und einer durchgängigen Simulation.

ANWENDUNGSBEISPIELE – ADAS KALIBRIERUNG

Bild 18 zeigt ein Kalibrierbeispiel einer Level 2 ACC Funktion. Die Notwendigkeit der Einbindung der Verkehrsumgebung in das ADAS System findet sich auch im Entwicklungsprozess wieder. Die große Zahl möglicher Verkehrssituationen führen zu einem extrem hohen Test- und Validierungsaufwand, zu einer sehr hohen Zahl von Use- und Test Cases, die bei der Systemdefinition, beim Testen und beim Validierung berücksichtigt werden müssen. Dadurch ergeben sich sehr Unterschiede beim Thema Testen und Validierung.

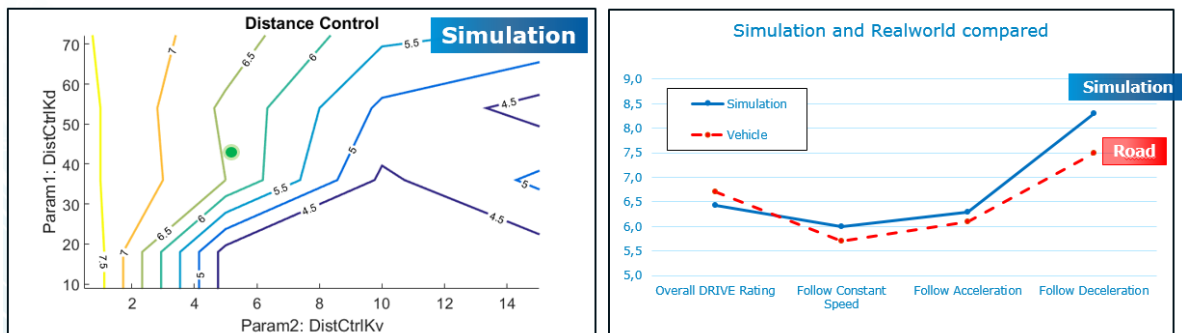


Bild 18: Virtuelle ACC Kalibrierung mit Berücksichtigung von Human Faktoren

Bild 18 zeigt ein Anwendungsbeispiel einer virtuellen Kalibrierung von ACC Funktionen, sowie einen Vergleich zwischen Straße und Simulation.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der durchgängige Einsatz von Human Factors Comfort, Perceived Safety, Ride and Handling im ADAS Entwicklungsprozess ermöglicht die Verwendung einheitlicher Zielwerte innerhalb einer Firma und in Verbindung mit Entwicklungspartner. Der Einsatz der Verfahren in der virtuellen Entwicklung ermöglicht die Durchführung virtueller Tests und virtueller Kalibrierung.

LITERATUR

Holzinger J., Bogner E. (2013). Objective Driveability assessment of automated/autonomous driving, Peter Schoeggl AVL, Michael Schrauf Daimler aG, AVL, Engine and Environment

Schoeggl P., Oswald M., Voegl R., Clement P., Stolz M., Ramschak E. (2018). Driver Assistance and Autonomous Driving, Engine and Environment

Schick B., Seidler C., Aydogdu S., Kuo Y.J. (ohne Jahresangabe). Driving experience vs. mental stress with automated lateral guidance from the customer's point of view

